石原純著

アインスタインと相對性理論

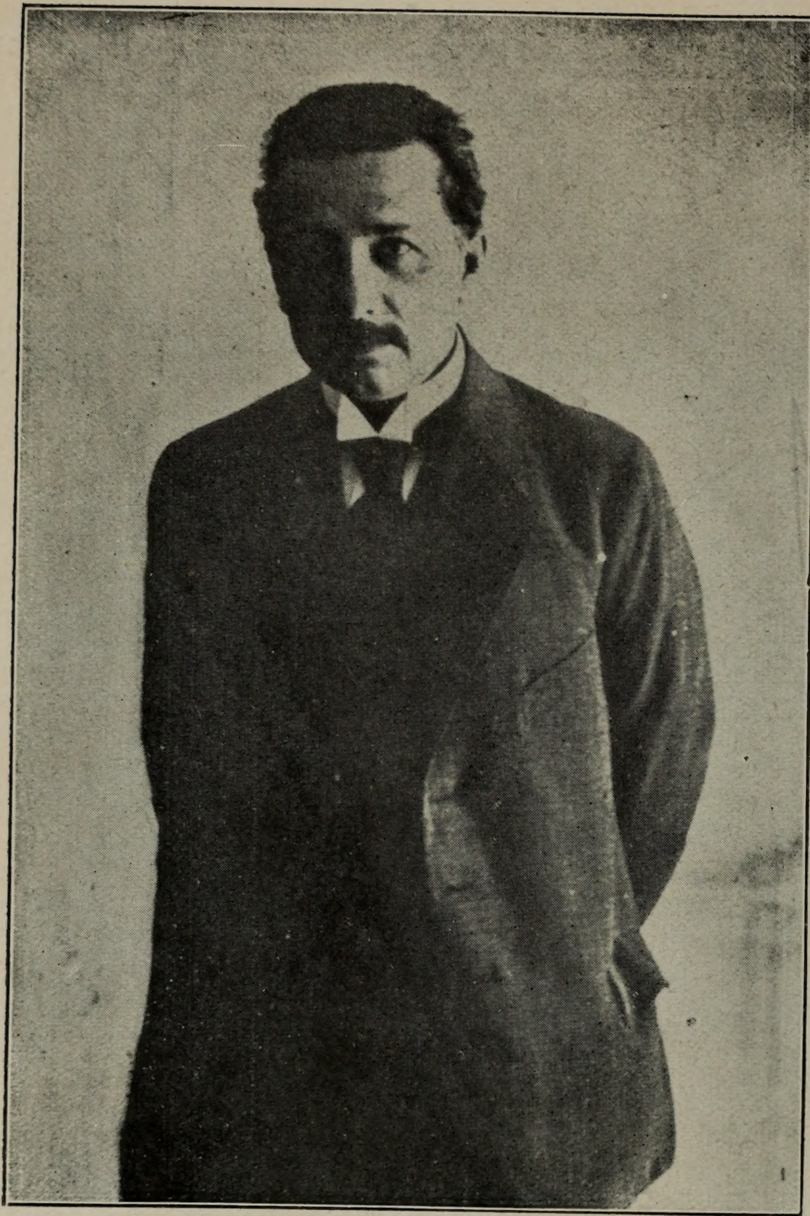
改造社

理學博士　石原純著

增補

アインスタインと相對性理論

改造社



禁轉載

アインスタイン教授に逢うて

瑞西チューリッヒのポリテクニクムで私は始めてアインスタイン教授に逢ひました。言ひ難い敬虔と喜悦とに充たされながら私は近代物理學の革命を成就したこの若い碩學に相對しました。

名に慕へる相對論の創始者にわれいま見ゆるところ
うれしみ

われの手をひたすらにとりてもの言へる偉いなるひ
とをまのあたり見る

世を絶えてあり得ぬひとにいま逢ひてうれしき思ひ
湧くもひたすら

嬉しめば教室のなか明かりき偉いなるひとにわが對
ふいま
まろき眼はひかりてありぬその瞳我れに向きつゝ和
みたりしか
厚みたるくちにもの言ひあたゝかみ溢るゝが如き情
したしも
部屋のなか空氣ふるひて流れたりぬ我があふぐひと
の息にいるべく

偉いなるひとを我がみぬうちひそみ默居るにいや面したはしく

* * * * *

夜の會終ふる時刻頃を學者らのむれぞよめけり教室のまへ

かすたにいの並樹まぶかき夜のみち人はたからかに語りてゆくも

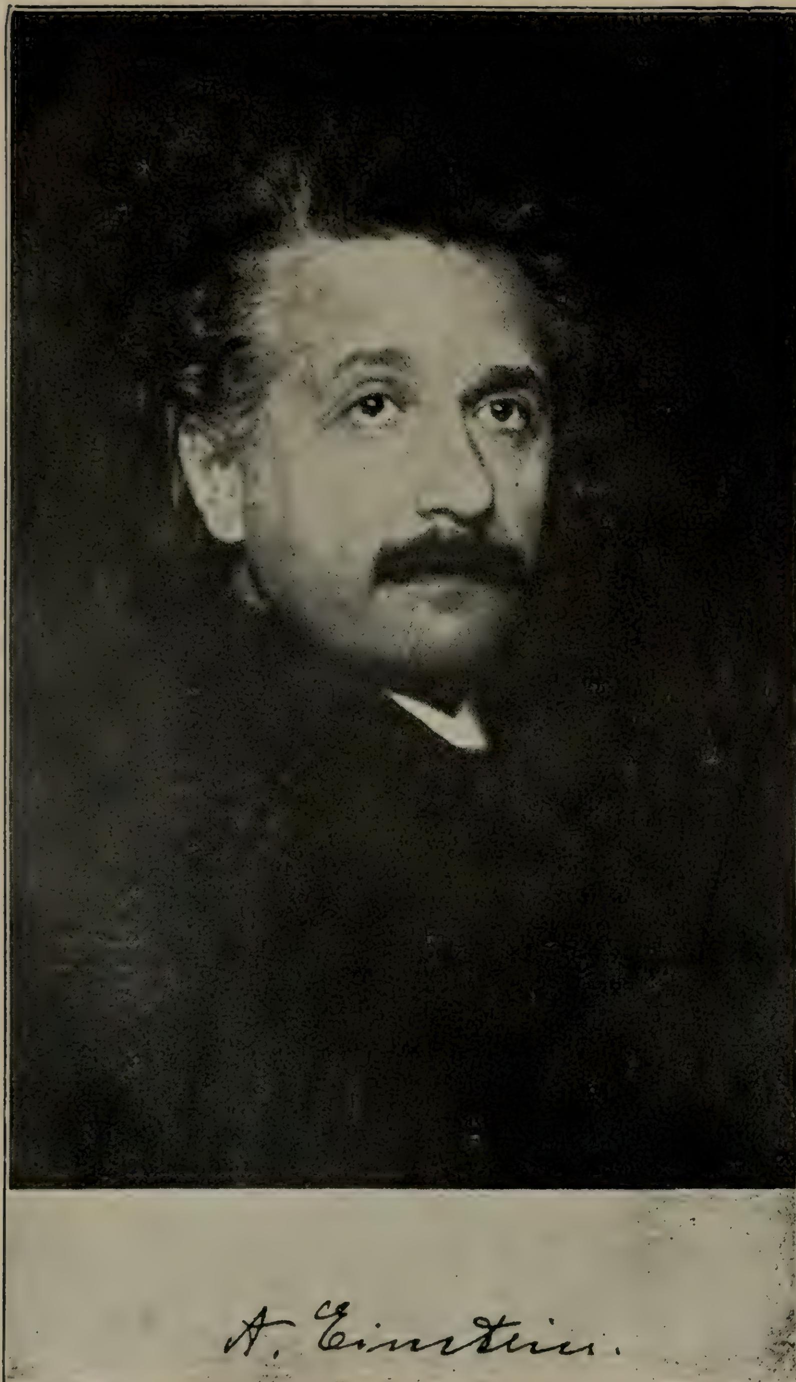
街燈のひかりながらふ舗道をくろき帽子のひとら並みゆく

學者らのむれ羨しけれや山腹をくだりていゆく光れる街に

街なかのかふええの庭に夜おそく語り疲れておも酔ひにけり

銀のごとく霧しろくくだるこの夜をともしみて山に歸りゆくなり

（一九一七年九月作）


A. Einstein.

序

私はいまアインスタインの相對性原理に關する二三の考察を輯めてこの一書を綴らうといたします。この原理の高遠なる意味を知らうとする人々に取りて幾分の參考になれば幸です。

最初に載せた「時間及び空間の相對性」と云ふ一文で、私はこの原理の梗概を述べました。もとよりこの原理の由來した複雜な事情や、この原理の含んでゐる極めて幽妙な數學的內容を、短いしかも不充分な言葉だけで說き盡すことは、明らかに不可能なことでありますけれども、併し之に關するゆき屆いた專門的硏究に赴く餘裕をもたなかつたり、又はその準備を缺く人々に向つて、出來るだけ平易に且つ簡畧にその要を撮むことの出來るやうにするのは、大切な

ことに違ひないと思ひます。私は然う云ふつもりで之を書いたのでした。なるべく不要な衣裝を省いて、ほんとうのなか身だけをはつきりとさせやうと致しました。私はそれがためのあらゆる注意をわすれなかつたつもりです。

若しこの書の説明を讀んでから、もう少し深くこの原理を究めやうとする心と時間とを持つてゐられる人々があつたとしたなら、さうしてそれらをやはり私の言に於て聽かうとせられるとしたなら、私は自分の書いた「相對性原理」(岩波書店發行)をお薦めしたいと思ひます。そこにはもつと多くの言を費してこの原理をできるだけ親切に解明したものを見出されるでせう。

第二の文「相對論に於ける法則の絶對性」では、前文に對する稍〻立ち入つた註釋を試みるつもりで、主として相對性理論に關する哲學的考察を述べました。實際アインスタインの原理の私たちに齎らす最も重大な影響は、それが從

來の自然法則の內容を變更したと云ふことの外に、自然法則やそのなかに入る物理學的諸概念の認識論的意義を深く反省せしめ、之に新らしい解釋を與へさせた處にあると謂はなければなりません。私は一般の人々に向つては、こまかな法則そのものよりも、斯樣な自然認識の問題を了解させる方が遙かに大切であると思つて、こゝに少しくそれらに觸れやうとしたのです、相對性原理がどれ程深く私たちの思惟の本質に關聯する處があるかを之によりて知つて頂きたいと思ひます。

第三の文「相對性原理の眞髓」は前項の考察をもう一度別の意味で補つたものです。之において私はアインスタインの仕事がどう云ふ點で、その先蹤と異つたものを與へたかと云ふこと、この原理の眞髓のどこが新らしくせられたものかと云ふことを、說明しやうといたしました。前文と合せてこの原理の意味を

知るために役立つであらうと思ひます。

第四においた「**アインスタインの宇宙論と思惟の究極**」は、相對性原理からの一つの大きな推論を叙して、私たちの宇宙に對する考慮を説明したものです。そこでも私は物理學の理論が、單なる經驗的事實の綜合を超越して、思惟の本質に如何に適合すべきかと云ふ意味を明らかにしやうとして、この具體的の問題に及んだのでした。之を讀むことによりて人生教養に資し得たでもあらう人々がいくらかでもあるならば、私はそれで滿足に思ひます。

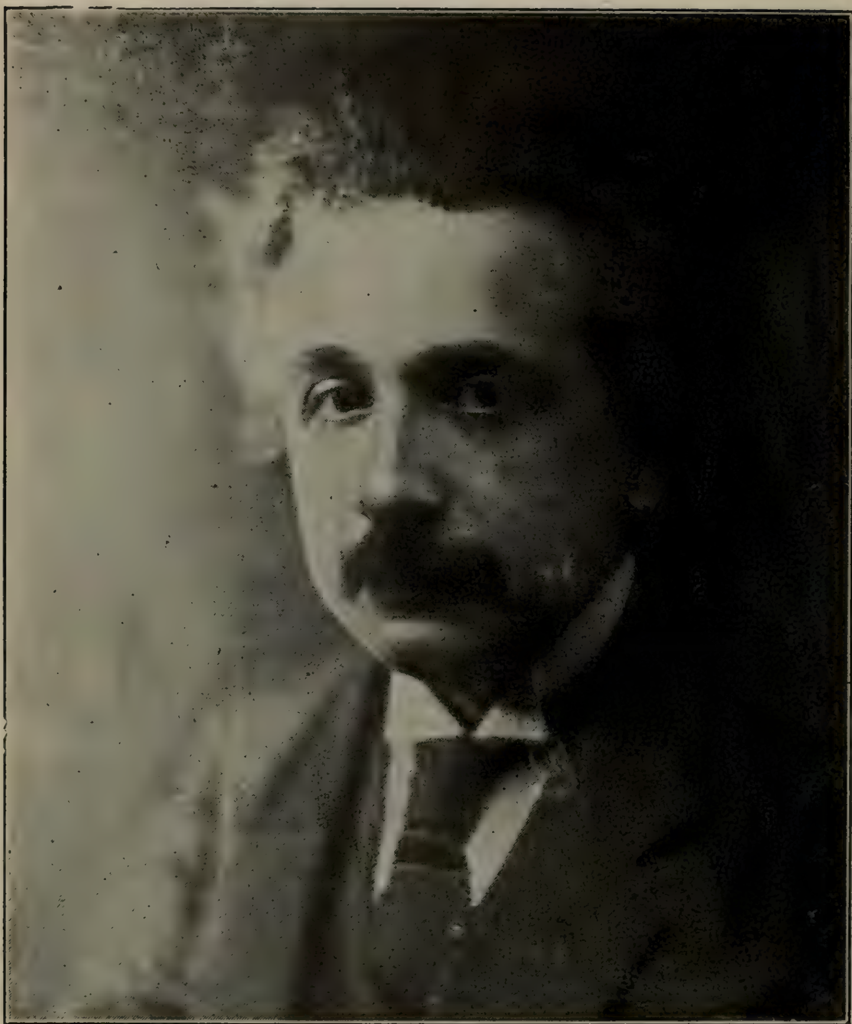
私は更にこの私たちに示された尊崇すべき原理の創稱者であるアインスタインの俤を、それを慕ふ人々に傳へたいこゝろから、私の乏しい記憶のなかに探り出して記して見ました。「**アインスタイン印象記**」はほんの端くれのやうなものではありますが、私がこの偉人に接して得たその儘の感想なのです。

最後に私は「**アインスタインの著作に就て**」と云ふ一文で彼の科學的の仕事の大體を紹介して、彼の眞面目を知らうとする足しにしたいと思ひます。それに附隨して今日までの彼の「著作論文題目」をこゝに集錄いたしました。親しくその原著作に就て讀まうとせられる人がありましたなら之によりて便宜を得らるゝこともあらうと思つたからです。

卷頭に附したは寫眞は、丁度私が一九一四年四月外國留學を終へて歸途に就からうとして、英國を引き上げて獨逸のベルリンに來ました折、そこのカイゼル・ウヰルヘルム研究所で田丸節郞君の親しく撮影せられたものを私が頂戴して來たものです。アインスタイン敎授はその少し前にそこの名譽敎授になつて瑞西のチユーリツヒから轉じて來られたのでした。私はその時はあひにくゆき違つて會ふことが出來ませんでしたけれども、今私はその寫眞のうへの風貌に

接しながら、その頃の、その邊りのことを心に泛べて懷かしく思出してゐます。

一九二一年一〇月二五日安房保田に於て　　　　著者



目次

附　錄

アインスタインと相對性理論

理學博士　石原　純

時間及び空間の相對性

一

私は先づ自然並びに時間、空間に關する一般の哲學的の意味を解明し、さうして後に私の玆に說明しやうとする主題に及ぼしてゆくことを許容して頂きたいと思ふ。之が複雜なる路をとほりて高遠なる思想に到達する經程を幾分でも容易く追隨し得る所以であると信ずるからである。

私は自分のなかに意識の主體たる我を認むることを以て始めなければならない。併し意識する我があるといふことは、同時に意識せらるゝ對象の存在をも肯定することであらねばならない。この意識せらるゝ對象のすべては最も廣い意味に於ての自然を形つくりてゐる。さうして自然のあらゆる現象は、何れにしても或る時間の經過のなかに、或る空間の擴がりに於てあらはるゝものとして先づ吾々に認識せられる。此最初の楷梯にありてはそれらの一切の認識は純粹に我の直觀に屬すべきものである。

私はまた自分のこの直觀的認識のなかに、自分と同等なる意識を有する多くの人間と、それらの人々の意識內容とを見いだすことができる。さうして再びそこに彼等の認識を通じて存在する自然現象と、それが行はるゝ時間及び空間とを考へることが出來る。私は玆に當然の問を發しなければならない。私自らが

第一次的に意識せるものゝなかにあらはるゝ自然及び時間空間は、他の人々の意識にあらはるゝとして第二次的に私自らに映ずるそれらと果して同一のものであるか否かと。私は先づこの疑問を如何にして判斷することができるであらうかを究めなければならない。之を明らかにすることは卽ち對象の客觀性に關する根本的の意味を知る所以である。

すべての人間に意識せられる對象的自然を素朴的に同一なものと假定してしまつた時代には、自然の實在性や、時間及び空間の絕對性はその當然なる歸結でなければならなかつた。そこには動かすべからざる空間の枠のなかにあらゆる自然が劃然として閉ぢこまれてゐた。さうしてその中に置かれた各の人間は一様に流れゆく時間の窓隙をとほして自分の外をながめてゐるのであつた。人間は瞬時的な自然の見物者に過ぎないのであつた。併しこの素朴的な見方は最

初の批判的の疑によりて既に壞されてゆかれねばならなかつた。物質的な對象が何もなかつた處に空間的の擴がりを測り得るかどうかを疑がつてみるがいい。又何の變化も起らないときに時間的の經過をどうして知ることが出來るであらうかを思つてみるがいゝ。空間の枠や時間の窓隙は之等の現象と離れて絕對に與へられたものと思惟することはどうしてもできない筈である。そればかりではない。之等の現象は我の意識によりて始めて感じ得られるのである。我の存せぬ處に之等の對象のみが先づ存することをゆるすのは、直觀的には不可能である。斯やうにして自然の素朴的實在は我の自覺によりて消失してしまつた。さうして一切の自然は我の認識にのみ依存するやうになつた。

　我の自覺はまことに哲學的に重要なる意味をもつてゐた。併し私達はもつと考ふべきことをもつてゐる。それはこの自覺せられた我のなかには、私自ら第

一次的に意識せる我ばかりではなくて、第二次的にすべての他の人々に屬せりと認識する多くの我をも含まなければならないといふことである。從つて之等の多くの我のなかに認識せらるゝ對象的自然は、各獨立な直觀によりて現はるゝものである。それらが同一の對象であるかないかを如何して判斷することができるであらうか。之が私の最初に述べた問題である。

私は今自分のまはりの自然を見る。私の傍にゐる他の人がやはり之れを圍む自然を見てゐることを私は認める。彼の見る處がどんなに私の見る處と一致して居やうともそれが絕對に同一對象であるといふ完全なる證明を得るには、私達の有つてゐた感覺が余りに個性的に異つてゐることを私は感じなければならない。彼のいふ赤いと云ふ色彩が果して私の感じてゐる赤いと云ふものと同じであると誰が直接に斷ずることができるであらうか。併し私達は又思つてみな

ければならない。之等の個性的に異なつた感覺をもつてゐる人間が各その經驗によりて認知せる自然のなかに、何故に普遍的な自然法則的關係を見いだすことができるであらうか。私達のつくる自然法則が個々の人間の獨立な經驗的事實に基くにも拘らず、何故に個々の感覺に依らない普遍的なものとなることが出來るのであらうか。此の問題は極めて大切なものであるとは謂ふまでもない。私達は此の普遍なものを求めて、始めて之に自然の實在性の根據をおくことができるからである。さうして此の普遍が唯一の可能關係に相當するときに自然の絕對性が確立せられる。時間と空間とがそこにやはり絕對なるものとして與かつてゐるかどうかも、之と同時に解かれなければならない問題なのである。

（一）自然法則が普遍的な唯一の可能關係を與ふるものであるか否かに就ては多くの議論もあることで、殊にマツハなどは之を否定し、多くの可能關係のうちに最も簡單であり最も思惟經濟的なる

ものが、私たちの求める自然法則であると論じてゐるけれども、可能關係の多數存在は勿論一つの假定であつて、證明せられた事實ではない。私等は寧ろ自然科學の發達の歴史に於て自然法則の唯一に歸せんとする傾向のみを經驗してゐることを思へば、このマツハの假定は却つて臆測に過ぎないやうに思はれる。自然の唯一性に關しては尙ほ後文を參照せられたい。

二

自然科學の內容を塡充すべき自然法則は、自然現象のなかに抽象的に求められる概念の間の一定の關係をあらはすものである。その窮極なる最精なる形に於ては之に入る概念は常に數量的であつて、その間の關係は一定の數式によりて與へらるべきものであることは一般に認容せられる處である。(二)私はこゝに自然法則の普遍性の眞の意義が存することを信じやうと思ふ。

(二)自然法則が數量的概念の間の函數的關係の形で與へられてゐるのは、今日では理論物理學の外に幾許もないやうな有様である。併し數量的にあらはされてゐないそれらの法則は、之に入り込む

變數的要素が非常に複雜なるために純化することが出來ないからであつて、自然科學の發達は漸次それらをも數量的關係に導く日のあることを豫想せしめてゐることは疑ふべくもない。

もと吾々は實在學としての自然科學に對して形式科學としての論理學を有してゐる。さうして論理學の最も精なるものは數學であることは謂ふまでもない。數學は或る公理を先づ假定してそれから論理的に可能なるあらゆる關係を導き出してゆかうとするものである。數學に於ける公理は最初經驗的につくられた數の概念又は空間の概念のなかに含まれる性質をもつて之に充てたので、それから代數學や幾何學が發達して行つた。此の點に於て此等の數學は旣に經驗的實在と或交渉をもつてゐなければならなかつたのである。併し純粹の抽象的數學に於ける公理は必ずしも經驗的事實に依ることを要しない。數學を一の論理形式であると見る以上、公理とはその論理の系統の基礎になる命題に過ぎないの

であつて、一つの系統内にある幾つかの公理は、それらが互に獨立であり、さうして矛盾しないものであればよいのである。現に虚數に關する公理や非ユークリッド幾何學に於ける公理の如きは經驗を超越せるものであつて、吾々は只抽象的に可能なる關係としてのみそれらを假定したのであつた。ともかく之等の數學に於ける公理及びそれから導かれる論理の最も重要なる性質はそれが普遍的であるといふことである。各の人が個性的に異なるにも拘らず何故に普遍的な概念を抽象しその間に普遍的な論理形式をつくることが可能であるかといふことに關しては、私は各の我の本性のなかに、之が完全にせられたときにあらはす絶對普遍性を想像して、そこに根柢をおかなくてはならないと思ふ。此の論は今玆には暫く措くこととするが、形式科學としての數學の普遍性は否定することのできないものである。私は之と密接なる關聯を有する自然科學が亦普

遍的であるべきことをも之によりて解したいと思ふ。

私達は數學を應用して自然現象を說明するといふ。さうして自然法則を數式の形に於て云ひあらはすといふ。此の意味を仔細に考へて見れば、それは自然現象のなかに抽象せる種々の概念の間に、數學の論理形式と同等な關係を見出すといふことに外ならないのである。勿論自然現象は甚だ複雜なものであるから、私達の現に知つてゐる限りの數學の論理形式のみであらはし得ないものを含んでゐるかも知れない。又結局は旣知の論理形式に導かれるものでも自然の多樣のなかから未だ適當なる概念を抽象し純化し得ない部分もある。併し窮極に於ては之がすべて可能であることを豫想することは誤でないと思ふ。否この豫想そのものが自然科學成立の前提になるべきであると解したい。斯く解することによりて數學の普遍性は卽ち自然科學の普遍性をつくるべき要素と見處

做すことが出來る。

私の直觀せる自然そのものが他の人々の直觀せるものと同一であるかないかを判斷することは恐らく主義的に不可能である。併しそれらの自然現象から一定の概念を抽象することが各の人に許されるならば、さうしてその間の關係と同等なものを數學の論理形式のなかに見出したとするならば、之は全く普遍的なものである。夫故に直觀的自然は個別的であるけれども、之に反し自然法則的に結合せられた概念的自然は普遍的であると云はなければならない。此の普遍的自然に於て始めてその實在性を確立することができるのである。

自然の實在を吾々の直觀のなかに求めずして却つて概念的構成のなかに見出さうとすることは、尙ほ適切さを疑ふ人があるかも知れない。併し吾々が自然現象のなかに常に普遍的關係を有する數量的概念を見出すことが出來るといふ

に、自然の實在の意味が存することを深く思ふならば必ずしも諒解し難いことではないであらう。私は之等の概念の網をもつて最後に一切の完き實在的自然を蔽ひ盡すことができるのを信じたい。自然は斯やうにして吾々の認識のなかに滅びないものとしてつくられてゆくのである。私はもう一度こゝに自然の實在を數學の普遍性に基いて論じて來たことを繰返しておく。さうして吾々の思惟作用のなかに生るゝ數學の論理形式が何故にその對立者を直觀的自然のなかに見出し得るかといふことに關して、思惟そのものゝ實在的自然に對する深い關係を指摘しておきたいと思ふ。

三

以上の哲學的考察は自然科學の普遍性の根據を吾々に啓示する。併しながら自然科學の內容をなす自然法則や之がなかに獨立變數として入る時間及び空

間座標が果して絶對の意味をもつてゐるかどうかは、具體的に諸現象を研究することによりて始めて決定せられなければならない。

時間と空間とは全く獨立に思惟せられることが從來信ぜられてゐた。勿論時間を測定するには空間内に起る運動現象を媒として必要とするけれども、さうして此の意味に於て既に或密接なる關係が兩者の間に存在するけれども、空間のすべての點に於て同一の普遍的な時間を定め得ることを否定するものはなかつた。此の意味に於て時間は絶對的であつたのであつて、從つて或る一定の原因とその結果との時間的距離、或る出來事の時間的繼續は如何なる觀測者にとりても同一であるとして判斷し得たのである。

時間の判斷の絶對でないことを始めて明らかにしたのは、私の今述べやうとする相對性原理の創唱者アインスタインであつた。彼は先づ二つの離れた場處

に於て同時刻なることを判斷するには此の間に信號として傳達せらるゝ或る物理的現象を媒介とする必要のあることを指摘した。(三) 例へば其の一方から光を送り他方で之を鏡に反射せしめて前者に戻したとする。若し光の進む速度が往復とも同一であるならば、前者に於て光を送り出した時刻と、再び戻つて來た時刻との中央が、後者に於て之を受け取つた時刻に相當しなければならない。さうして之に依りて同時刻の判斷と時計の進み方の比較とをなすことができる。併しながら若し光の速度が往路と復路とに於て異つてゐるとしたならば二つの場處の同時刻の判斷は此の速度がどの位異るかによりて適宜に變へられなければならないことは明らかである。即ち同時刻なる判斷は絶對に決定せるものではなくて少くとも信號として用ゐる現象が空間を如何に傳播するかといふ法則に依存することが理解せられるであらう。從つて信號として如何なる現象を用

ゐるべきかと云ふことにも關聯する。斯くして若し同時刻といふ判斷が異なり得るものとすれば、時間の前後の判斷も之によりて左右せられなければならない。さうして或る場合には原因と結果との順序を逆にしはしないかといふ杞憂を伴ふことになる。之は深く考慮しなければならない問題ではあるまいか。

（三）二つの離れた場處に各その時間を記すべき時計があるとする。この兩者を合はせるために、一方を他の場處に持つてゆくと云ふことは、こゝでは許されない。何故なればそれは各の場處に固有な時間を與へる所以ではないからである。私たちは從來すべての場處に於て同一の時間を想像してゐた。その假定のうへでは一方を他の場處に持つて行つてもかまはないけれども、一般にはさう出來ないことが明らかであらう、

信號として光を用ゐる理由が、若し光が空間のすべての場處を傳はり得る普遍的な現象であるといふに止まるならば甚だ不充分なものであると私は思ふ。若しさうならば音響の傳はり得る範圍内に於ては之を用ゐても或は同樣な論據

が成り立つであらうといふ點に於てその必然性を缺くからである。光を用ゐなければならない必然の理由は實に此の現象が呈する獨特な性質に依るのである。さうして此の光の獨特な性質はアインスタインによりてその相對性原理の最初に假定せられた處のものなのである。

光の現象に此の性質が假定せらるゝに到つた由來は甚だ遠い。光がフイゲンスによりて一の波動現象として解せられて以來、此の波動を起し得る物質的媒質として空間を充すエーテルなるものが假想せられた。さうして之に不思議なる性質が賦與せられた。天體の運動がエーテルの存在によりて殆ど何等の抵抗をも受けないために之は極めて稀薄なる氣體に比せらるべくあつた。又光が純粹に横波として傳はるために之が媒質は固體的の彈性を有しなければならなかつた。更に運動せる物體内に於ける光現象は物體の運動にも拘らずエーテルが

常に絶對に靜止すべきことを要求した。之等の諸性質を實際の物質が同時に有すべきことは殆ど不可能のやうにも見える。併しエーテルは論理的に當然之を具有しなければならない不思議なものであつたのである。けれども私達は單に思惟に困難であるといふ理由のもとに論理的に當然なる所産を捨てゝはならない。却つて之を實驗的に探し求めることによりてその論理の基礎を確かめやうと努めなければならないのである。(五)

(四)フイゲンスは和蘭の人で、光をエーテルの波動として説明したのは一六七八年である。

(五)エーテルは最初純粹に彈性的な媒質として見なされ、光はそのなかに起る彈性的振動として解せられてゐた。併し十九世紀になつて電磁氣現象がやはり眞空中に行はれることが漸く明らかになつて來て、その媒質としての役目をもエーテルに負はしめなければならなくなつた。さうして英國のマックスウエルが光と電磁氣現象とは全く同一のものであることを理論的に證明して以來、エーテルは專ら電磁的媒質として認められるやうになつた。

エーテルが若し空間に絕對に固定してゐるものならば、之に對して運動する物體の速度が何等かの實驗によりて觀測せられなければならない筈である。たとへば吾々の地球はやはりエーテルに對して或る運動をなしてゐるに違ひない。地上の觀測者から見ればエーテルは卽ち逆に流れてゐるのである。此の地上に於て地球の運動(六)の方向に光を往復せしめた時間と、之に垂直な方向に同じ距離だけ光を往復せしめた時間とを比較すれば、エーテルの流れが存在するために前者の方が後者より稍々長くなる筈なのである。若し之と同樣な實驗を河の流れに於て光の代りに一定の速度を有する汽船を往復せしめて行つたならば、確にさう云ふ結果を得るに違ひない。然るに米國のマイケルソン及びモーレー(七)が光を以て前記の實驗を極めて詳細に行つた結果は全く否定的に終つてしまつた。彼等は卽ち地球運動の方向と之に垂直なる方向とに於て光の往復の時間

に少しの差を認め得なかつたのである。茲に於て私達は疑問を起さなければならない。船の往復に於て明かに差のあるものが何故に之と同様の意味を有すべき光の場合にあらはれないのであらうか。アインスタインは茲に光の獨特の性質を見たのであつた。

（六）地球のエーテルに對する運動は豫め判らないけれども、その恒星に對する運動をもつて少くとも近似的に置き代へることが出來ると豫想されてゐた。之は力學と電磁氣學とに於て絶對運動の觀念を一致させるためであつた。

（七）マイケルソンは最初一八八一年にこの實驗を行ひ更に一八八七年にモーレーと共に之を繰り返した。光の干渉を用ゐて之を測つたので豫期の差異は遙かに觀測の誤差の程度を超えてゐたのに、少しもあらはれなかつたのである。

彼は此の光の獨特の性質を假定することによりて極めて簡單にマイケルソン及モーレーの實驗の結果を説明しやうとした。光の速度はすべての觀測者にとり

て常に同一であると。之が彼の原理の最初におかれたる假定なのである。地球がどんなに動いてゐやうとも地上に於て相等しい距離だけ光が往復して來る時間はこの假定によれば勿論相等しくなければならないことは明瞭である。

相對性原理は光現象に限りて此の特種の性質を假定した。こゝに光を信號としてすべての場處に於ける同時刻の判斷をなさなければならない必然の理由が存するのである。何故に之を敢てしたかと云へば、私達はマイケルソン及モーレーの實驗の結果がこゝに導いたものであると謂はなければなるまい。とゝかく時間の判斷が絶對的のものでなくて此の光現象の法則に依存することはこゝに說いた處によりて解せられたであらうと思ふ。

四

光がすべての觀測者にとりて常に同一速度で進むといふことは、それ自らに

於て簡單な命題であるけれども、その影響は極めて重大なるものゝあることを認めなければならない。

第一はエーテルの否定である。若しエーテルが媒質として存在するならば、さうしてそのなかで光が一定の速度で進むならば、之に對して運動せる觀測者にとりて光の速度は異なりて見えなければならない筈である。此の相異を否定することは卽ちエーテルを否定することでなければならない。エーテルの不可思議なる性質を私は前節に述べた。併しエーテルはこの論理的に當然なる所產のために捨てられる理由はない筈であつた。然るにエーテルが今こゝで抹殺せらるゝやうになつたのは、その物質的假定が光現象の法則と矛盾するやうになつたからである。矛盾のみが吾々の論理系統のなかに生息し得ない要素だからである。

之に對して物質的媒質なしに波動を思惟することは稍困難を感ずると云ふ論があるかも知れないがそこにはもはや矛盾は存しないのである。物質のない空間、但それは抽象せられた幾何學的空間ではない。對象的自然として與へられてゐる物理學的空間をいふのである。此の空間のなかに力の場が存し波動が起ることを、空間それ自らの根本的の性質と見ればそれでいゝのである。その波動が實際の彈性的媒質(八)内に起るのと似てゐると云ふまでである。私達が最初に彈性體内の波動を經驗したといふことが、空間内にも彈性的媒質がなければならないと云ふ結論を齎す理由にはならない。エーテルがなければ空間に波動が起らないと思ふのは空間を抽象的な無內容なものとして思惟するからである。具體的な物理的な空間は現に私達が認識するが儘の空間なのである。その中に波動の傳はるのが認められるならば、空間それ自らがさう云ふ性質を具へてゐ

るに外ならないのである。吾々はその認識のなかに矛盾を含むやうなエーテルをもつて之を充ち塞いでおく必要はない。

（八）エーテルを電磁的媒質と見なしたときに、それは既に純粋の弾性的のものではなくなつてゐた。私たちが物質を電子的構成によりて説明しやうとするに至りて、エーテルは全くさう云ふ物質とは異つてゐた筈である。

第二は絶對空間の否定である。もと私達が抽象的に空間を思惟してゐる間は、點の位置及びその運動が相對的にしか意味のないことは容易く諒解せられる處である。空間を具體的な物理學的なものと見なした上でも、力學的の現象のみを經驗してゐた時代にはやはり絶對空間を認知する方法はなかつた。（九）併し光及び電磁氣現象に於て空間に絶對に固定せるエーテルなるものを認めるに到つて、それが絶對空間を標示するものとして意味せらるゝとが可能になつた。此の點に於てはエーテルはたゞ光現象を説明する媒質としてのみでなく、もつ

と重大なる意義をも負はせられてゐたのである。然るに此のエーテルはアインスタインによりてその存在を否定せられてしまつた。さうして私達は再び絕對空間を標示する何ものをも有たないとになつた。すべての觀測者は空間のなかに於て全く同等の權利を與へられた。彼等が互に運動してゐるとしても、それは相對的に意義を有するばかりで、その何れが空間に靜止し何れが動くかといふ差別がない。否さう云ふ差別をつくる絕對空間そのものが認識せられ得ないのである。夫故に彼等は同等に光の速度を測りて常に同一の値を見出さなければならない。何故なれば、若し異つてゐるとしたならば何故にその一方が大きく他が小さいかといふ理由を求め得られないからである。彼等の一方が他よりもより速に動いてゐると判斷するやうな絕對空間が與へられてゐないからである

（九）力學現象に就ては等速運動は全く相對的であつて、之を差別する絕對空間は認められなかつた。

但し力學の法則が成立すべき空間が特に標示せられてゐたのは事實であつて、宇宙の全物體の質量の中心に結びつけられ、且つ絶對廻轉を標示し得る一つの座標系が存在するものと假定せられ、之を或る意味に於て絶對空間と見なしてゐたのであるけれども、之と相對的に等速運動をするものとの間に、少しの差別もなかつたのである。

五

相對性原理は時間と空間とが極めて密接なる關係を有することを明かに私達に敎へる。

この原理に於て絶對空間と共に絶對時間が否定せられてゐることは既に言ひ及んだ通りである。すべての觀測者は光の速度が同一に見えるやうに時計を調節して同時刻なる判斷を行はなければならない。此の結果は相對的に運動せる二人の觀測者の一方に同時刻として判斷せられる現象は、他方の人には必ずしも同時刻ではなくなるのである。卽ち各の觀測者はそれぞれ自己に固有な時間

的判斷をなしてゐるのであつて必ずしも他の判斷と一致してはゐないのである。同時刻の判斷の斯やうな相異は、おのづから空間の長さの判斷の相異をも結果するものである。たとへば私が茲に或る棒をもつてゐるとする。此の棒の長さが幾許であると云ふ意味は、棒の兩端の點が同時刻に存在してゐる空間内の二點間の距離がそれだけあるといふことに外ならない。然るに相對的に運動してゐる他の人から見て同時刻といふ判斷が異なるならば、その人にとりて同時刻に棒の兩端の存在してゐる距離は、棒と共に居る私自からの測つたものとは異なるのが當然であらう。夫故に棒の長さはやはり絶對に定まつたものではなくて、此觀測者によりて異なつた値を有するのである。

丁度此の事實は曩のマイケルソン及モーレーの實驗を説明しやう(一〇)としてローレンツが地球運動の方向に測つた距離の短縮を假定したのに相當する。彼は此

の短縮によりて運動方向に往復せる光の要せし時間がエーテルの流れのあるにも拘らず長くならないことを說明したのであつた。彼の假定した短縮はエーテルに靜止せる觀測者の立場に於て云うてゐるのである。さうしてアインスタインから云へば斯樣な觀測者が地上の觀測者に對して同時刻なる判斷を異にする爲めの當然の結果に過ぎない。現に此の短縮はすべての物體に運動の際に共通にあらはるべきものではあるけれども、それは壓力によりて縮められた場合とは全く異なることは種々の實驗に於て確められてゐる。(二)夫故に物體が觀測者に對しての速度を增して、光の速さに近づくとき、その運動方向の長さが減じて零に近づくといふことが云はれるにしても、必ずしも解し難いことではないのであらう。それは實質的に厚さを失ふのではなくて斯樣な觀測者の長さの判斷が異なるためにさう見ゆるに過ぎないからである。

（一〇）ローレンツは絶對靜止のエーテルの存在を假定してすべての光學的及び電磁的現象を說明しやうとしたのである。この長さの短縮の假定を導いたのは一八九五年で、丁度アイスタインの相對性原理を公にする十年前であつた。ロ！レンツと獨立にフイッツ・ジェラルドも仝じ假定によりてマイケルソンの實驗を解しやうとした。「すべての物體はその運動の方向に於てその長さを短縮する。物體の運動速度が v、光の速度が c なるとき長さの短縮の割合は $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ である。」勿論ここで物體の速度は觀測者に對しての相對的のものである。この割合は物質の彈性には無關係であつて、又 $v=c$ なるときそれが零になることは上式から明らかであらう。

（一一）例へば壓力によりて縮められた硝子板は縮んだ方向に光學的性質を異にして、謂はゆる複屈折といふ現象を起すけれども、運動のために短縮を起してゐる硝子板はさう云ふ現象を示さないことは、レーレー及びブレース等の實驗で確められた。

空間の長さの判斷の相異は又時間の長さの判斷の相異をも伴ふことは謂ふまでもないことゝ思ふ。その空間を過ぎる光の速度が變らないやうに時間と空間とを測らなければないからである。夫故私達が幾年生きてゐるといふことも、

相對的に動いてゐる人から見れば異つてゐなければならないのである。すべての空間と時間とに關する判斷は斯くして觀測者に對立するだけの意味をもつてゐるので、それ以上に絶對なる意味はない。

畢竟、光の速さがすべての觀測者から見て常に同一であるといふ事は、アインスタインに取つては論理的に演繹せられたものではなくて、却つて論理の先頭におかるべき一の公理なのである。之が成立つやうに時間及び空間の判斷測定を行へばそれでいゝのである。そこには何も矛盾が生ずる筈はない。只此の公理は私達の從來慣れてゐた公理とは異つてゐる。それがために種々の點に於て異樣を感ずるに過ぎない。たとへば地上に於て一方に光を送れば之は一定の速さで進むでゆく。私達がこの光の方向に又はその反對にどんなに速く驅け出したとしても光の速さは少しも變つて見えないのである。之は誰しも不審に思ふ

に違ひない。光でなくて、汽車が走つてゐるとしたならそれは大變だからである。幾ら速く走つてもさう云ふ汽車があつたとしたら之に追ひつくことは不可能になる。數學の言を用ゐれば、光の速度は之に何を加ふるも減ずるも變らない量であるといふことになる。斯樣な加減法は明かに私達の通常慣れてゐる公理には含まれてゐない。併し之を公理とする數學は勿論成立ち得るもの(一二)であつて、相對性原理に於ける速度の加減は之に從ふものに外ならないのである。

(一二)他の數を加減しても變らない數は只一つあつて、且つ一つに限るのである。之は決して任意のものではなく、連續數の極限に置かれるものでなければならない。この意味で光速は次に言ふやうな特別な意味をもつてゐるのである。

私は尚ほ之に數言を加へておきたい。若し光の速度を無限大であるとするならば、この加減法は通常の意味を有するやうになる。換言すれば之に於ては通常の加減法に於ける無限大の數の役目を或る有限なる數がつとめてゐるのであ

る。此の意味に相當して光の速度はすべての可能なる速度のうちの最大の値であり、物體は如何なる力にはたらかるゝも之れ以上の速度に達することは出來ないことも推論せられる。又光の速度を超ゆる速さを以て傳はる物理的作用はあつてはならないこともこれから結論せられる。若し斯樣な現象があると假定すれば、之を信號として同時刻といふ判斷を行ふときは、或る適當の場合に於[一三]ては光の信號を用ゐた場合と時間の前後を逆にし、從つて原因と結果との順序を倒まにするに到るからである。さうして同一の事象に對しては原因と結果との連結は一義的でなければならないからである。

(一三)前者に對して相對的に或る速さで動いて見ればいゝのである。勿論この速さ自らも光の速度を超ゆることはゆるされない。

六

時間と空間との相對性はミンコフスキーの「物理學的世界」に於て最も明確に示された。彼は空間の三次元の外に時間の一次元を融合して、四次元の双曲線的空間を想像し之に物理學的世界なる名を與へたのである。或る時刻に於ける一質點の位置は、此の世界のなかの幾何學的點としてあらはれ、從つて質點の時間的に經過せる運動は、此の世界に於ける幾何學的線としてあらはれる。彼は之に世界點、世界線なる名を與へた。此の世界に於ける時間空間の一座標系は一の觀測者に固有なるものである。之と相對的に運動せる觀測者に屬する座標系は、時間の軸を含む平面內に前者を廻轉したものに相當する。廻轉によりて得た後者と、前者との關係は全く相對的であつて、同等の權利を有してゐる。すべての觀測者にとりて各それに屬する座標系が時間空間測定の基礎になるものであつて、それらの何れも絕對の意味をもつてはゐない。卽ち時間空

間の相對性は、軸の廻轉の相對性に依りて最もよくあらはされてゐる。

時間及び空間の密接な關係は亦此の世界形象のなかに能く透見することが出來る。之に於ては時間の軸は空間の軸と全く同等の役目におかれてゐる。軸の廻轉によりて得られた新しい時間の軸はその射影をもとの時間軸の上のみでなく空間軸の上へもつくる。又新らしい空間の軸はその射影をもとの時間軸の上へもつくる。之等の幾何學的關係は前節に述べた時間空間の判斷をその儘にあらはしたものなのである。私は餘りに專門的に亘る事を虞れて之れ以上の説明をこゝに省略する。(一四)

(一四)ミンコフスキーの世界空間はその性質が双曲線的であるために、通常のユークリッド空間と異つて想像し難い處がある。併しこの兩者は根本的に異つてゐるものではない。時間軸に沿うての長さを虚數單位で測ることによりて、それは容易くユークリッド空間に變化せしめることが出來る。

ミンコフスキーの世界の特性は光速をあらはす世界線が常に不變に殘るとい

ふことである。軸の廻轉は之が成立つやうに行はれるべきものである。併し一般に座標軸の廻轉は世界形象の內容に變化を齎らさない筈であつて、從つてすべての他の世界線も其の形象に於ては不變なのである。之は甚だ重大なる物理的意義をもつてゐることであつて、自然現象の本性に立ち入る一大原理といふべきである。

光の速度がすべての觀測者に對して同一であるといふことは、光現象をあらはす法則がそれらに對して同一であることの結果と見做すことができる。ミンコフスキーは更にすべての世界形象の不變といふことを假定して之をあらゆる自然現象に規範しやうとした。彼の相對性原理の內容は次の如きものである。

「時間と空間とは融合して一の物理學的世界をつくる。自然法則は此の世界のなかに於てあらゆる可能なる軸の廻轉に對して常に不變なる幾何學的形象と

してあらはされる。」

此の原理を先づ假定して、之に從ふものゝみを正當なる自然法則として解しやうとした。私は茲に再び最初に述べた處の哲學的考察を持ち來りて此の原理の言ふ處を明らかにしたいと思ふ。

自然科學の普遍性は吾々が自然現象のなかに見出す概念の普遍性と、その間の關係を對比する數學の論理形式の普遍性とに基くことを私は述べた。此の關係は卽ち自然法則をあらはすものに外ならない。

自然法則は此の意味に於て普遍的であるけれども、之が絕對の普遍であるかどうかは遽かに斷言することはできない。同一の事象に對して異つた法則が立て得るかも知れない。マッハの如きは實際多くの法則の可能を豫想して、只その中に最も思惟を經濟にするものを選んで承認すべきであると云つて居る。併

しながら思惟經濟は選ばれたるものの必然を意味しない。自然の實在をその普遍的關係に於て見出さうとするに當りては之が必然であり絶對である事を要求するものである。さうして思惟經濟は其の當然の結果であると見做す事によりて始めて徹底的の意味を見る事が出來ると私は思ふ。何故なれば、可能なるあらゆる論理形式のなかに於て實在的自然にその對立を見出すものが、最も多く思惟經濟の理に協ふものであり、さうして一面から見れば吾々の思惟作用が亦自然の一現象として此の理に從ふを當然とすると解したいからである。ともかく同一の現象に對して異れる多くの法則の可能なることを私達は今日に於て經驗しない。そればかりではなく、上に述べた相對性原理はすべての自然法則を唯一絶對の不變なる形象に於て時空の世界のなかにゆるさうとするものであることを思へば、此の原理が上の哲學的疑問に對して與かる處の尠なくないことを

覺るに足りるであらう。

自然法則そのものに對して之を容るゝ形式としての時間及び空間もやはり同じ意味に於て普遍的の概念である。併し相對性原理は之が全く相對的の意義を有するに過ぎないことを明らかにした。一定の時間空間は各の觀測者に對してのみその本來の意味をもつてゐるのである。私は尙老婆言とは思ふが、之は各の觀測者にのみ所屬せるものではあるけれども、各人の直觀的の時間空間と同じではないことを注意しておきたい。何故なれば前者はやはり普遍的に認識せられたものであつて相對的に運動せる二人の觀測者に屬せる時間空間の間には一定の普遍的關係が之を結びつけてゐるからである。

七

ミンコフスキーの物理學的世界は軸の廻轉に對して不變に殘るといふことを

相對性原理は主張した。此の軸の廻轉は相對的運動の場合に於ては速度の一定なるものに相當してゐた。實際にマイケルソン及モーレーの實驗以來論ぜられてゐたのは等速的な相對運動のみであつたのである。玆に於て等速でない運動に對してはもはや相對性は成り立たないものであらうかといふ疑問が再びアインスタインによりて攷究された。さうして彼は多くの困難を排して遂に相對性原理の偉大なる擴張に到達したのであつた。

運動の相對性はもと等速運動に限られるやうに信ぜられてゐた。私が今滑かに一樣に走つてゐる汽車のなかに坐つてゐるとする。其場合には自分は動いてゐることを感じないで、只窓外のものが自分に對して動いてゐることを認める。併し汽車の速度が急に遲くなつて止まれば私は自分を前方に衝きのめされるやうに感ずるに相違ない。私はそのときやはり窓外のものの自分に對して動く速

さの變つたために斯んな力を受けたのであるゝ判斷するであらうか。恐らくは私は之に反して自分の運動が變つた故であると思ふに違ひない。從來の力學は實際さう敎へてゐるのである。力學の法則は等速運動の相對的であるのに反して力や加速度は絕對的である事を假定してゐる。私達は併しこゝに疑つてみなくてはならない。絕對なる加速度とは果して何に對して云はれるべきであらうか。加速度のないことを標示せられたる物體若くは座標系はどこに存在すべきであらうか。ノイマンは斯樣な假想體を名づけてアルフア體と呼んだ。(一五)力學の法則から推論すれば此のアルフア體は宇宙のすべての物體の質量の中心に對して加速度を有しないものでなければならない。併し宇宙の擴がりに對して知らない吾々はその質量の中心が一定に決し得べきものであるかどうかをも豫め判斷し得ない。又若し宇宙が有限であつて斯樣な點が定まつたにしても、何故

に此標準體に對してのみ力學の法則が作られねばならないであらうか。之が法則を最も簡單にする所以であると答へるならば、此の選擇にはやはり必然性が缺けてゐると謂はなくてはならない。私達は既に各の觀測者に對する時間空間の相對的意義を覺つた。アルファ體に結付けられないすべての觀測者に對しても、適當なる時間空間の判斷を與ふることによりて、力學の法則を同一の形式につくることが果してできないであらうか。之は時間空間の相對性に關する更に根本的なる問題でなければならない。

（一五）ノイマンは一八七〇年「ガリレイ。ニウトンの理論の原理に就て」といふ論文で之を論じてゐる。

アインスタインは此の問題の解決を萬有引力の性質の擴張に於て求めやうとしたのである。彼は物體が加速度を受くるときあらはす惰性を測る惰性的質量と、重力に引かれた重さに比例する重力的質量とが全く同一なる（一六）ことに注目

し、遂に加速度によりて生ずる力はその本質上、重力及びその廣義に於ける萬有引力と同等なることを大膽に假定したのであつた。さうして加速度を受くる觀測者が惰性の力を感ずるのは彼に屬する時間空間の四次元世界が或る歪みを呈するがためであるとし、從つて亦萬有引力の場に於ける觀測者が力を感ずるのはやはりその世界點のまはりに同樣なる歪を示す故であると解した。

（一六）どんな重さをもつた物體でも地球上の同一空間に於て自由に落下させれば、空氣の抵抗を除いたときに、全く同じ加速度で落ちるといふことは、著しい事實である。之は兩質量の同一なることを示す所以である。

私達は地面に立つてゐるとき地球の引力と地球が自轉する爲の遠心力とを受けてゐる。地球の自轉が假りにだんだん速くなつたと想像したならば遠心力が漸次大きくなり、遂には私達の身體の重さが感ぜられなくなつてしまふであらう。さうなつたとしても私達の身體は地面の上に接觸して地球と一緒に廻轉を

續けてゐるに違ひない。私達は力にはたらかれて居るのを感じないにも拘らず何故に眞直にゆかないで地球の周圍を廻るであらうか。地球のまはりを遠くまはつてゐる月は遠方に於てやはり之と同じ有樣におかれたものに外ならない。

アインスタインは之に答へる。力が作用しない時に物體が眞直に動くといふことはその空間が曲率を有しないユークリッド空間であるからである。直線はそこに於て二點を結付ける最短距離だからである。地球の周圍の空間は其の重力の爲めに私達に歪むで見える。その中に於ける最短距離をあらはす線は直線ではなくて曲つた線である。地上に於て力のはたらかれてゐないと私達の感ずる物體はさう云ふ路を通つてゆくのである。

アインスタインの此の論はすべての運動の相對性を主張するものである。如何に動いてゐる觀測者に對しても適當なる時間空間の判斷によりて之に同一の

運動の法則を成立たせることができるものである。ノイマンのアルファ體はもはや茲には不必要にせられ、嘗てエーテルの出遇つたのと同じ運命におかれてしまつた。ミンコフスキーの相對性原理は單に時間空間軸の廻轉に對してばかりでなく世界空間のあらゆる歪みに對して成立つやうに擴張せられた。前節の終に述べた自然法則の絶對性と時間空間の相對性とはこの御蔭によりて最も廣い範圍に於てその意味を確立することが出來たと謂うてよい。

私は更に此の相對性原理の擴張が他の意味に於て私達に多くを致へたことを言ひ添へたい。それは非ユークリッド幾何學が經驗を超越した公理のもとに純粋に抽象論理として發達して來たものであるに拘らず、それが空間の本質に、より深く觸れてゐることを認めらるゝと共に、一方に於てアインスタインの引力論によりて其の對立者を實在的の空間に見出し得たといふことである。實在

的自然の普遍性が斯樣にして數學の普遍性と關聯することの意味が之によりて最も明かにされたと謂ふことが出來ると思ふ。

八

アインスタインは一八七九年獨逸に生れた猶太人で國籍を瑞西においてゐる。戰爭前からベルリンのカイゼル・ウヰルヘルム研究所の研究教授となつてゐる。極めて溫和な風貌をもつた質實な人のやうに見える。

彼が相對性原理に關する最初の論文を書いたのは一九〇五年であつて、ミンコフスキーが物理學的世界を論じたのはその三年後であつた。萬有引力論は一九一〇年頃から試みたのであつたが、種々の困難に出逢うて數度之を補ひ訂し大戰後一年即ち一九一五年に至りて略〻完成したものである。それから戰爭中引續いて彼は論文を發表してゐる。獨逸のあの苦しめられた國情のなかに於て

科學の歴史にも比類の少ないこの偉大なる仕事がなされたことに關して私達に感慨を增さしめるものが多いと思ふ。

アインスタインの萬有引力論の最も有力なる證明は水星の運動に於て見られた。從來のニウトンの引力の法則は天象を記すに極めて精であつたに拘らず、ひとり水星の運動に於て說明し難いもののあつたことは之に對する大なる謎とせられてゐた。即ち水星軌道の近日點の移動のうち原因の不明なるものとして每百年に四十三秒の角度を數へてゐたのである。さうして今アインスタインの理論が精密に此の數量を與へるといふことは旣にその正しいことを示すものと解せられた。併し更に此の理論からの驚異すべき結果は、光が太陽の近傍を通過するとき屈曲するといふ事實であつた。太陽の周圍の空間が歪んで居りさうして光がそこに於て最短距離を通るといふ以上、之は屈曲しなければならな

いのである、此の事實はアインスタインによりて既に一九一一年に豫言されたのであつたが、丁度昨年の五月二十九日の日蝕の際、英國の觀測隊が遠くブラジル及びアフリカ西海に於て之を確むる機會をもつた。この結果が全く肯定的に十一月六日の英國學會に於て發表されたときに學界は驚嘆に充ちて之を聽いた。英國の學士院長ヂエー、ヂエー、タムソンは海王星發見以後の大豫言であると稱揚した。アインスタインは當時のタイムス紙上に彼の原理に關する簡單なる說明を寄せたがその最初に於て特に英國の學者が勞資を費して戰時中敵國に於て完成された理論を試みたことに對して感謝の辭を述べてゐる。さうして彼は最後に相對性の例として自ら云うてゐる。自分は今英國に於ては瑞西の猶太人として紹介され、獨逸に於ては獨逸生れの人間と云はれてゐるけれども若し風向を代へて自分が惡者として罵らるゝ場合には英國に於て獨逸人と呼ばれ、獨

逸に於て瑞西の猶太人と云はれるであらうと。私は之等を讀んで、人間がその最も眞摯なるべき科學的の仕事に努めてゐるときに、國際的の事情が之に禍ひし若くは之が褒貶に關與することの止むなきを思ひ、さうしてまた學術聯盟の時事に連想しないではゐられない。(一八)

(一七)この事實はまた一方から解すれば、光が惰性的質量と共に重さをもつことを證明したのだと云へる。その重さのために太陽の萬有引力に引かれて曲ると見てもいゝからである。

(一八)相對性原理と觀測的事實とのもう一つの符合は、太陽の光のスペクトル線の移動に於て豫期せられてゐる。太陽の上では萬有引力の强さが地球に比して遙かに大きいためにそのスペクトル線が地上の光に比べて赤色の方に移動しなければならないと云ふのである。之は移動を起す他の原因が多くあるためにまだ充分明らかに證明されてゐない。

九

私は最後にアインスタインの理論の齎らす徹底的なる宇宙論(一九)を記して時間空間

の性質の考慮に資したいと思ふ。

（一九）この項は更に後文に於て稍詳細の說明を與へる。

宇宙の擴がりは何處まで到達するかといふ問題は元より直接の經驗からは判斷することの出來ないものであるけれども、私達の思惟は之に關して或る程度の解決をゆるすものである。最初に考へ及ぶことは宇宙の無限なることである。私達はどこまでで宇宙が終るといふ界限を見出す特別の理由を少しも有つてゐないからである。併し私が特に茲で注意しておきたい事は界限のないといふことが此の場合の主要點なのであつて、無限であるといふことはそれの結果として導き出された處なのである。此の無限であるといふことに關しては種々の疑がある。宇宙に於ける星の分布は多樣であるけれども、その充分大なる範圍を包容してみれば物質の平均度は、或る場處に於て特に大であるといふ理由

のない限り、何處も等しい筈である。さうして宇宙の何れの場處に於ても星の光から來る明るさはやはり平均に於て等しくなる筈である。然るに此の假定はニウトンの引力の法則とは矛盾するのである。何故なれば若しかやうな星の分布を容認すれば引力の强さは無限の遠方に於て無限に大きくなるからである。卽ちニウトンの理論に從へば、宇宙の全體には中心があつて、其の近傍にすべての星が集まり、之から遠ざかるに從って星の質量が平均に於て減ずるやうにならなければならない。斯くして星の世界は限りなき空間の擴がりのなかに、局部的の集群をつくつてゐるやうになる。

宇宙の構造を斯やうに想像してみた處で、私達には尙ほ不審が起る。多くの星から發する光は限りなく諸方に擴がつてしまつて、もう再び戻つて來ない。それは星群から遠ざかつて限りない空間のなかに失はれてしまふ。空間のなかに

星が存在してゐれば之に衝き當りて光は吸收せられ相互的の平均を保つ事が出來たのでもあらうけれども、全く星のない遠方の空間に出てしまつた光はもはや吾々の星の世界から永久に失はれたものである。此れは窮極に於て安定な宇宙を想像する所以ではない。

アインスタインの萬有引力論は之等に反して能く私達の思惟の要求に應ずる宇宙をつくる事ができるやうに思はれる。彼の理論によれば物體の重力の及ぼす空間は或る歪みを生じて非ユークリッド空間になつてゐる。今星が平均に宇宙全體に一樣に分布されてゐるとすれば、之が爲に空間全體は一定の曲率を有する球空間となる筈である。球空間はその界限のないことに於てユークリッド空間と同樣であるが、併し之の如く無限に擴がつてゐない。最短距離をあらはす線は無限の長さをもつてゐないで有限である。丁度昔は地面を平であると思

つてゐたのが今日に於て地球が球面をなすことの見出されたやうなものである。アインスタインの宇宙は何故に斯く有限になつたかと云へば、之は空間が歪んでゐるがためであり、空間の歪みは物質が存在してゐるが爲めである。さうして空間の曲率半徑は宇宙の全物質の量に比例することが結論される。夫故に宇宙の物質の總量が大なれば大なる程、宇宙の擴がりは大きいのであつて、之に反しすべての物質がなくなつたとすれば、同時に宇宙夫れ自らの擴がりも消失してしまふのである。物質がありてさうして宇宙が之に依存するといふことは極めて深い意味をもつてゐることでなければならない。

私は玆に解し易いために歪みの起る空間を單に實在的の空間の如くに說明したが、實は之はミンコフスキーの世界空間に就て謂ふべきものであり、從つてそのなかには時間の概念が含まれてゐるのである。時間を含むだ世界空間が物質

のために如何に歪むかに關しては尙ほ多少の議論もあることで茲には說明し難い。併しそこには宇宙の空間的擴がりと共に時間的繼續に關する極めて興味ある問題を含むでゐることを示しておきたい。時間及び空間の根本的な諸性質に關する問題が如何に相對性原理によりて解かれてゆくかを省りみるとき、私達は今更に此の原理の科學的に並に哲學的に重要なる意義を思はない譯にはいかない。

（一九二〇年一一月）

相對論に於ける法則の絕對性

一

「私の說き示さうとする空間及び時間の觀念は實驗的な物理學的な基礎の上に生育したものである。そこにその確實さがあり、さうしてまた根底的な傾向を示してゐる。今後、空間夫れ自ら及び時間夫れ自らは全く陰影のなかに隱れ失はれて、獨りその兩者の或る結合のみが獨自性を保つと謂はねばなるまい。」

これは一九〇八年の九月に獨逸國ケルンに開かれた獨逸自然科學者及醫學者大會に於てミンコフスキーが「空間及び時間」といふ題目で講演せるときの最初の有名な言である。この時までは未だアインスタインの相對性原理は幾ばくも

やうにして恐らくは顧みやうとしなかつたのである。地球運動の効果がマイケルソン及びモーレーの實驗に全く顯はれなかつたことは不思議には相違ないけれども、それはエーテルとか物體とかの性質を適宜に考へたなら說明の出來ないことではあるまいと人々は豫想してゐたのである。ローレンツが、エーテルに對して運動せる物體はその運動の方向に長さを短縮するものであるといふ假定を導いて之を說明したのは、卽ち常識的に最も近い方法で之に答へたものであると見做すことが出來る。まさかに空間や時間に對する觀念が、こんな物質的現象のために動搖させられやうとは思はなかつたであらう。物質やエネルギーやエーテルを思惟する以前に、既に抽象的に空間や時間の觀念がその全內容をもつて成立するもののやうに人々の思想が傾いてゐたからである。併し單純

な實在論に滿足し得なかつた批判哲學は、既に此の點に反省を有つて居るべき筈であつた。物質の皆無な空間や、現象の何も存在しない時間が果して最初から觀念的に認め得られるものであらうか、それは決して然定せらるべき所以ではない。況して空間や時間が數量的な概念に渾成されるためにはどうしても物質的現象の觀察に待たなければならないのであつて、從てそれらが物理的法則に依存すべきことは至當のことに外ならないのである。空間や時間の自然現象に對する關係は、容器とそのなかに盛られた水のやうな、お互に引き放して考へ得られるやうなものではない。併しながら斯樣な密接な關係をたとへ哲學的に承認してゐたにしても、マイケルソン及モーレーの實驗が、從來會得されてゐた空間時間の概念の變更を齎らすべきものであるかどうかを見究めることは容易のことではない。尙ほまたさう云ふ變更によりて實驗的事實を解釋する事が

できたにしても、それに必然性を歸するまでには相當の論據を要することとなのである。アインスタインの仕事が遽かに認められなかつたのも斯様な事情があつたからである。夫れ故に前述のミンコフスキーの講演を人々は驚異の眼を見張りながら聽いてゐた。空間及び時間によりてつくられた四次元の世界のなかにすべての物理的法則が、不變な幾何學的形象として云ひあらはされるといふことはまことに驚くべきことに相違なかつたのである。それは彼の言のやうに實驗的の基礎をもつて主張せられてゐるには違ひないが、それればかりでなく更に普遍的な幾何學的關係によりて装はれたことに於て、その換へ難い價値を獨り占め得たものと云はなければならない。私は此のミンコフスキーの與へた衣装に飾られて、相對性原理が始めてその本來の美を輝かすことが出來たことを忘はずにはゐられない。否、彼の導いた四次元の世界は單に此の原理を飾る形式

的衣裝ではなかつた。その中に空間と時間との深く相關聯する哲學的意義を認めることの出來る點に於て、もつと本質的に相對性原理と結び付いてゐるものなのである。物理的法則の眞否の判斷が如何に深く數學の普遍性に待つ處があるべきものかを私は此の例に於て痛切に感ずるものである。

ミンコフスキーの講演のあつた同じ大會に於て、電子の質量が運動速度によりて如何に變るかといふ問題に對し、ブッヘレルの實測の結果が發表された。(二)それに依れば電子の形體を剛體的に不變なものと假定した理論に比べて、相對性原理の主張する如く運動によりて變形すると假定した理論の方が實測と一致することが示された。さうして之に對する議論がその席上に集つた人々のなかに云ひ交されたなかに、即ちおほくのものに尙ほ躊躇の俤が殘されてゐた間にミンコフスキーは敢然として次の言を述べてゐる。

「私は實驗の結果が剛體電子に對してでなく相對性理論に對して都合よく見えること（二）に就て歡びを述べたいと思ふ。いつの日かさうなければならないだらうと云ふことは理論的な立場からは少しも疑のないことであり得た筈である。電磁現象の法則をあらはすマックスウェルの式が相對性原理と最も內面的な調和を有するなかに剛體電子は私には一つの畸異者としか見えない。剛體電子の思想をもつてマックスウェル式のなかに入り込むのは、恰かも奏樂のまへに立つて綿の栓をもつて自分の耳を塞いでゐるやうな者である。剛體電子を信ずる人々の眞理とその暴力とを少くとも私は驚かずにはゐられない。その人たちは無理に當座の假說を擔ぎ上げて、最も廣濶な數學的な柵圍をとび越えやうとしてゐる。さうしてその向うのどこかで偶然に實驗的な物理學的な礎石に出遇はうと望んでゐる。けれど剛體電子は

決して作業假說(Arbeitshypothese)ではない。寧ろ作業妨碍者(Arbeitshindernis)である。」

(一)電子を剛體的な球體と假定してその諸性質を理論的に導いたのはアブラハムであつた。相對性原理以前の力學の考へ方から云へば、形體を變へない剛體は物體のうちの最も簡單な理想的なものであつたからである。併しこの原理の立場から云へばローレンツ短縮をなす物體が却つて最も自然なものであつて、さうでない爲めには寧ろ或る複雜な束縛を必要としたのである。

(二)この少し前即ち一九〇六年にカウフマンが實驗した場合にはその結果は寧ろローレンツ收縮を示す電子よりも、アブラハムの剛體電子に左袒するやうに見えた。ブッヘレルの實驗が之に反した結果を示したといふ點で特にこの言が意味をもつてゐる。

彼が如何に確い自信をもつてゐたかを私たちは此等の言に見ることが出來る。さうしてその自信は至深至妙な數學的關係の木框のなかへ空間と時間とさうしてまた自然現象の法則とを嵌め込むことが出來るといふ處に確かりと根づいてゐる。私はもう一度此處で繰返して言うておきたい。私たちが自然現象を

理解すると云ふことは斯うした普遍的な數學的關係の之に相當するものを探し索めることに外ならないのである。夫れ故に數學の普遍性は卽ち私たちの自然科學的認識の普遍性の根據となり、さうして數學の玄妙な論理的關係は同時に自然現象のなかに具體的に再現せられることが出來るのである。

ミンコフスキーの四次元の世界が如何に至妙な空間と時間との關係を與へるかといふことは、只數學解析を審かに解する人々にのみその味得をゆるされる。私はこの紙面に於てそれを說くことの適切さを見いだし得ないことを遺憾に思ふ。併し私は此處では、人間の頭腦がさう云ふ機微を普遍的知識として、現在に於て所有し得べきことを廣く告げればそれでいゝのであると思つてゐる。

相對性原理の基礎を確立せしめた偉材ミンコフスキーは其のケルンに於ける講演を果して間もなく、未だその講演の草稿が載せらるべき雜誌にあらはれな

かつた間に、既に早く盲腸炎を病んで逝いた。一九〇九年の一月であつた。私は相對論をこゝに紹介するに際して、彼の斯う云ふ不慮の死によりて天命を短く終へたことを惜まずにはゐられない。

二

相對論は必ずしも一の物理學的理論としてのみ終始すべきものではないと私は思ふ。其の本質的な關係は既に幾何學に於て具はつてゐるものである。そこでは種々の幾何學的形象の間に存在する關係は、之を解析的に云ひあらはすために便宜上取られた坐標の如何に拘らないといふ定理として示されてゐる。換言すれば私たちはどんな坐標を選ばうともその間に常に一定の函數的關係をもつてあらはされる幾何學的性質を具へた對象を思惟することが出來る。私たちはそれを共變的(covariant)な關係であると名づけてゐる。此の場合に於て坐標

の選び方は限りなく澤山にある。けれどそれらの坐標は、その間に成立つ幾何學的關係を云ひあらはす上に於て總て同等の位置におかれて居り、また同等の權利を所有してゐる。その何れを選ばなければならないと云ふ差別は少しも存在してゐない。此の意味に於てそれらの坐標は全く相對的であり、さうしてその坐標の間に成立つ幾何學的關係のみが一の絕對者となつて私達に示されて來るのである。

此のことは幾何學の理論の發達と共に抽象的に私たちの思惟の世界のなかに闡明せられて行つた。此の理論の與ふる種々の幾何學的對象が實在の空間のなかに見いだされるかどうかは勿論顧慮する必要もなかつたし、また實際に不明でもあつた。然るに相對性原理は之等の全く抽象的な思惟の所產であつた幾何學の理論をそのまゝ物理學的對象に應用し得るものであることを明らかにした

のである。何故なれば物理的法則に入る諸概念はすべてミンコフスキーの四次元世界に於ける幾何學的對象(三)として云ひあらはし得べきことを此の原理が主張するからである。

(三)幾何學的對象と云ふのは、具體的に解り易く云へば、大さ、方向又はその外の幾何學的關係を具へた量であつて、ヴエクトルとかテンソルとか云ふものは夫れである。例へばエネルギーの如き量は運動量と相伴つて四次元世界の一つのヴエクトルとなる。

相對性原理は萬有引力論をその同じ屋蓋の下に包容するに至つて著しく一般的に擴張された。物體がそのまはりに萬有引力を及ぼしてゐるために、四次元の物理學的世界は物質の分布に應じて種々の歪みを生ずるものとせられてゐる。それにも拘らず此の世界のなかに於て行はれる物理學的法則は一定の共變的關係としてどんな坐標を選んでもそれには關しない。法則は斯樣にして絕對のものでなければならないのである。之に反して此の四次元世界に於ける坐標

は卽ち夫々の觀測者が準據すべき空間と時間とを與へる(四)ものであつて、それらは觀測者の物理的情況の異なるに從つて、相異してゆくものであるけれども、法則を云ひあらはす上に於て全く同等な資格を具へてゐるのである。空間と時間との完全な相對性の存立はここに基いてゐる。夫れ故に物理學に於ける相對論は、觀測者の完全な相對性を認めることによりて、法則の絶對性を確立し、從つて之を普遍的な永遠的なものとして徹底せしめてゐることを諒解しなければならない。

（四）それぞれの觀測者の有すべき物指や時計が互に 之を比較すれば異つてゐるのは、その運動狀態などが異なるためである。併しながら各の觀測者にとつてそれらは何れも眞實な長さや時間を與へる。

私は相對論に於ける對象の絶對性に關して特にここに注意をとどめておきたいと思ふ。或る對象に絶對性を歸結せしめやうとするために最も徹底せる道は

斯くして相對論に求むべきことを私は感ずるからである。觀測者若くは批判者が相對的に同等でないとしたならば、その觀測若しくは批判の結果が何れの場合に絕對であるべきかを判斷することが出來ない。それらの異つた多くのもののなかで絕對の權威者があらはれるのを待つゝ假想するにしても、果して實在者の何れが之に相當すべきかを判斷し得るのは、その絕對者自からにのみゆるさるべきことであつて、他には任せることが出來ない筈である。換言すれば絕對者でない他のものは、その誤謬を免がれない判斷によりて、絕對者の判斷の絕對性をも疑ふにちがひない。卽ちすべての人に對する絕對は此の場合には單に想描的に存在する外、決して實在的には成立し得ないであらう。之に反して觀測者若くは批判者の凡てが相對的に同等である場合に於ては、それらの觀測若くは批判の結果は相一致する。卽ち普遍的な從つて絕對的なものとしてすべて

の人々自らがそれを許容することが出來る。

私たちが實際に行ふ物理學的觀測はそのまゝで普遍的なものではない。觀測者が個性的に多少異つた感覺を有つてゐるからである。併しそのなかから普遍的要素を抽象してそれによりて認めらるゝものを私たちは物理學的對象と見做してゐる。卽ち個性的相異から起る觀測の誤差を取り除いたものを始めて物理學的の素材としての觀測と見なすのであつて、此の意味に於てその觀測は普遍的であり、從つて嚴格に相對論を應用し得るのである。實際に於ては之等の誤差を全く取り除くことができないので、夫故に完全なる普遍性は遽かに之にゆるされないけれども、併し少くとも理想の極致に於て之が可能を信じ、さうして現在の觀測が少くとも最後の理想的のものの或る漸近値を與へてゐることを肯定する處に、私たちの物理學の成立の論據が存在してゐるのである。

物理學の對象たる自然現象に比して、文化現象は極めて複雜なものを含むでゐる。併し此の現象に關する原理が立てられやうとする場合に當りては、やはり自然現象に於けると同樣の事情が存在することが悟られる。私は此に言及せんと欲して特に相對論に於ける對象の絕對性を上に述べたのであつた。文化現象に關する原理が若し或る場合に立てられやうとしたならば、その絕對性さうして普遍性を期待するがためには、玆處にも相對論が主張されなければならない。さうして文化現象に與かる個性のなかに少くとも其の理想的極致に於て普遍的なる性格を認める必要を持つやうになるであらう。之は同時に文化價値に對して最高極限の存在を認容するためにも必要なことなのであると私は考へる。

三

相對性原理は最初等速運動の場合に立てられたのであつたが、アインスタインが萬有引力をその考察のなかに導びき入れて、すべての種類の運動にまで之を擴げたことは、まことに天籟の音でなければならなかつた。古來の力學は狹く限られた等速運動の世界にのみ成立つてゐた。そこでは速度の變化は絕對者としてあらはれて居た。さうして力の實在といふ觀念がその上に作りあげられてゐた。速度の變化の絕對性がゆるされてゐる處には、此の變化が測られ得べき絕對の空間が與へられてゐなければならないのであつた。ニウトンは云ふ。

「絕對の空間は其の性質によりてさうして外界の諸物に關することなしに常に同一に且つ動くことなく止まつてゐる。」(五)

(五)この空間は、それに對してのみ力學の惰性の法則が成り立つやうに選ばれなければならない。但しガリレイ又びニウトンの力學の法則に從へば斯樣な空間が唯一ではなくて、之と等速運動をす

る他の任意の空間も同様にゆるされることを示してゐる。

彼は絶對空間に於ける運動が、單に相對的に考へられた運動から差別することの出來るのを示した。

「桶を長い糸でつるして、糸が強く捩られるまで之を廻し、桶に水を注ぎ入れて最初、手で抑へて止めておく、それから之に勢をつけて放すと、逆にくるくると廻つて糸の捩れが全くほどけてしまふまで廻り續ける。桶のなかの水面をみると、その動き出すときには水平であつたものが、だんだんと桶の運動が水に傳はるに從つて、水も廻り出し中央から端の方へ偏倚つて桶の縁で高くなり、從つて水面は凹んだ形になる。……水と桶との相對的運動はまだ水の廻り出さない最初に一番大きかつた筈であるけれど、そのときはまだ水は水平の儘で殘されてゐる。『實在』の運動が未だ始

まらないからである。併しその後に水の相對運動は減つてくるに拘はらず水は縁の方に遠ざかつてゆく。それが水の絕對空間に於ける實在の運動を示すものに外ならない。」

此の實驗は少くとも廻轉運動に對して絕對空間の存在を示すものとせられた。ニウトン力學を承認する物理學は之に向つて故障を云ひ立てることは出來なかつたに相違ない。併し私たちの現時代がアインスタインを送り出すまへに、既に二三の瞯眼者が昔の力學に或る懷疑をもたずには居なかつたのである。私たちはそこに先づマッハ(六)の名を見いだす。

「一つの物體の運動は常に他の諸物體に對してのみ判斷することが出來るのである。けれど通常私達は相對的に靜止してゐる若くは其の位置を極遲くしか變じない澤山の他の物體をもつてゐるものであるから、特にどれに對

してと云ふことを指摘せずに居る。從つて場合に依りて或は此の物體とか、或は彼の物體とかの存在を見遁して構はずにしまふ。併し此の事情のためにさう云ふ物體は皆同じことだと思ふのは間違つてゐる。」

（六）マッハは一八八三年に「力學の發達史」を書いてこの事を論じた。

彼に於ては運動は全く相對的にのみその意味をもつてゐる。

「ニウトンの廻轉せる水桶の實驗は、水の器壁に對する相對的廻轉が目に見える程の遠心力を起さないと云ふことと、併しそれが地球やその外の天體に對して相對的廻轉をなすためにあらはれると云ふことを敎へるに過ぎない。若し器壁をだんだんと厚くして質量を増させ、遂にその厚さを數粁にも亘るやうにしたならば、その實驗がどうなるであらうかを誰が豫言することが出來やう。……」

マッハの論鋒は鋭くニウトンに迫つて行つてゐる。彼が近く一九一六年の初に逝いたとき、アインスタインはその追悼の辭のなかに述べてゐる。

「マッハは古來の力學の弱點を明らかに知つてゐたので、此點に於て一般的相對論に甚だ接近してゐた。さうして此は今から殆ど半世記以前のことであつたのである。若し彼の若い心が活動してゐた時代に光速度の不變の意義に關する疑問が既に物理學者を動かしてゐたとしたならば、彼がもうその時分に今日の相對論に到達してゐただらうといふことは必ずしも臆測には止るまい。……ニウトンの水桶の實驗に對する考察は一般的の意味に於ける相對性（加速度の相對性）の必要が如何に切に彼の思想に横はつてゐたかを示すものである。……」

空間や時間や力といふ概念、それらは私達に最初から與へられたもののやう

に思つてゐる。併しさう云ふものをその儘に呑み込んでゐたのでは、驚くべき内容をもつた新らしい物理學は生れ得なかつたのであらう。私達はそれらの概念がどうして形づくられてゆくべきかを飽くまでも分析して見なければならなかつた。さうして之等の基礎的概念が、やはり物理現象の法則を離れて、それの成立つまへに與へられてゐるものでは決してないことを悟り得たのである。自然法則が私達の理解に協ふやうに、即ち數學的論理の形式のなかにぴつたりと當て篏まるやうに、私達はあらゆる物理學的概念をつくつてゆかなければならない。それが最も自然な途なのであると私は思ふ。ミンコフスキーは之は純正數學の異常なる勝利(Ein ausserordentlicher Triumph der reinen Mathematik)として云ひあらはした。私達の有する最も普遍的な、夫れ故に最も精確な知識として數學が認められるときに、自然が之と融合し得る所以の哲學的意義を私

はこゝに見遁してはならないと思ふ。さうして私は此の意味を含めてミンコフスキーの言を味ひたい。

四

ニウトンの萬有引力の法則は物理學の諸法則のなかで最も精密なものの一つとして信ぜられてゐた。それは諸天體の運動に應用せられて能くその軌道を計算するに足りてゐた。日蝕とか月蝕とかいふ天體の力學的現象がいつ如何なる時日に如何に起るべきかを豫言することが出來るのは皆そのお蔭であると謂はなくてはならない。併しながらニウトンの法則が只觀測的事實から歸納せられたゞ一の命題に過ぎないものであるならば、それはミンコフスキーの謂ふ處の、事實との偶然の逢合に外ならないのである。自然の素朴的實在を假定する限りに於ては、自然法則はそれだけの意味で充分であつたかも知れない。けれど現

在の私たちは、自然法則の體系にもつとそれ以上の意味をもとめて、その認識論的の根據をつくらうとしてゐる。自然法則は夫故に至妙なる數學の柵圍のなかに篏め込まれなければならなかつたのである。さうしてその論理形式の完美に於て始めて法則の必然性を仰視することが出來るのである。

先世紀の前半に於ける引力ポテンシアル論の發展に伴つてニウトンの法則は斯樣な數學の柵圍の方によほど引き寄せられたやうに見えたのであつた。(七) 併しそこには未だ解かれなければならない問題が殘つてゐた。それは引力が空間をどんな速さで傳はるかといふ問題である。

(七) ニウトンの與へた萬有引力がエネルギー恒存の法則に相當して一つのポテンシアルなる函數を有することが明らかにせられ、次でニウトンの法則の代りにこのポテンシアルの滿足する微分方程式が立てられるやうになつた。謂はゆるポアッソンの式と稱へられるもので、極めて對稱的な自然な形式を具へてゐる。

ニウトンの法則のなかには引力の傳達といふ思想がまるで入つてゐない。そこでは二つの物體の間の引力は最初から與へられたものであつて、その距離が變れば之と全く同時に引力の大さも變つてしまふのである。物體がたとへどんなに速く動いたとしても、引力の變化は常にその瞬時的現在の距離に應じて起るのである。併し斯樣な關係が認識論的に承認され得るかどうかに就て先づ疑が投げられた。空間的に相離れた場處へ物理的作用が直接に及ぼされ得るものであらうか。此問題の解決は萬有引力の場合でなしに、電氣力に對して先づ與へられるやうになつた。電氣力の法則も最初は實驗的にニウトンの引力法則と同樣の形で見出された。併しその種々の關係が磁氣力と相關聯して明かになつて行つた結果、遂に之等は有限な速度で空間を傳はるものであることが論斷せられ、さうして實驗的にそれが光速度に等しいことが確定せられるやうになつ(八)

た。そこで萬有引力も亦恐らく空間を傳はるに有限な速度をもつてするであらうと云ふことは、普ねく豫想せられ、此の意味に於てニウトンの法則は變更せられなければならないのも當然の運命と見なされてゐたのである。只引力の傳達の速度は觀測的にその精確の値をもとめることが困難であつたために相對性原理の成立以前に於ては、その有限さを確實にすることが出來なかつた迄である。

（八）靜電氣力は引力と斥力とがあらはれるけれども、その他はニウトンの引力法則と全く同じ法則で與へられる。併し之と磁氣力との關係は複雜になる。マックスウエルは一般の電磁氣力に對する微分方程式を立てゝ、その積分として波動の速度を見出した。さうして一八八八年ヘルツの實驗で之が確められた。

諸天體の運動のうちでニウトンの法則で解釋の出來ないものも屢ゝあつたのである。そのうち最も著しいのは月の運動であるけれども、月は地球に近接し

てゐるために、その形體や潮汐の變化などの複雜な影響があらはれるためであらうと想像されてゐる。此の外には水星の運動であるが、これも黄道光を起す物質の存在を考慮したなら說明ができはしないかと云はれてゐた。勿論その差違は極僅かなのであつて、引力が距離の二乘に逆比例する代りに、2,00000016乘(九)に逆比例すると假定すれば實際の運動に近くなるくらゐなのである。併し引力の法則にそんな變更を施して事實に逢合させるといふのは、それこそ明るい數學の栅圍をとび越えて、闇黑な領域に迷ひ出すものだと謂はなくてはならない。

（九）ホール の計算に依る。

相對性原理が最初等速運動に就て立てられたときに、すべての物質的運動並びに物理的作用の速度は光速度を超ゆることが出來ないと結論せられた。若し

之を超ゆる作用があつたとしたならば因果律に矛盾するやうになる。從つて萬有引力も光速度より速く傳はることはできない。多分それと等しい速度で空間を傳播するであらうと豫想せられ、之を滿足すると共に、一方に於てその原理の要求する處に從ひ、ミンコフスキーの四次元世界に於て不變の形をとるやうにその法則が創り更へられなくてはならないやうに迫られた。處がアインスタインは之を試み企てるに當りて、彼が最初に相對性原理を稱へるときに主張した光速度不變の假定を捨てなければならなくなつた。どんな觀測者から見ても光の速度は同一であると彼は言うた筈なのである。さうしてそれは彼にとりては演繹せられた結論ではなくて公理的な假定であつた筈なのである。それをいま捨ててしまつて、それでも相對性原理が成立つと云ふのは論理を謬つたものではあるまいかと云ふ激しい駁論が彼に向つて發せられた。電子論に於て多く

の功績をもつてゐるアブラハムの如きは此の駁論を振りかざして相對論に背き嘗て彼自らが主張した剛體電子の故壘に歸つて絕對論を守らうとさへするに至つた。併しながらアインスタインの引力論が最後の勝利を獲得するやうに幸せられたのは果して何故であつたであらうか。必ずしも事實との偶然の逢合によりてではないと私は思ふ。美しく建設せられた數學の大厦のなかへ彼は引力論をぴつたりと引き入れた爲めである。リーマン幾何學(一〇)、それが此の大厦の名まへであつた。

(一〇)非ユークリッド幾何學の最も一般にせられた解析的理論がリーマン等によりて發展せられたので、斯様な名でそれを呼んでゐる。

斯くして出來あがつた一般的の相對性原理に於ては、ミンコフスキーの四次元世界はリーマン幾何學の成立する空間として取り扱はれるのである。そこに

は物質の存在によりて空間の歪みがあらはれて來る。歪みのない場處ではいつも同一の速度で走る光は、空間の歪みの影響によりてその速度を變へることは必ずしも考へ難いことではない。私たちは此の光速度の變化を萬有引力のはたらいてゐる爲めであると言ひ直してもいゝ。或はまた光は重さを有つてゐると、さう云つてもいゝのである。さうして之等の光速度の變化に拘らず、此の四次元の世界のなかで、萬有引力の法則はリーマン幾何學に於ける共變的關係として、どんな空間時間的坐標に對しても同樣に成立つのである。すべての觀測者に對して光速度の變らないといふとは捨てられたけれども、それはもつと一般的な形で、卽ち法則の共變性（Covariancy）といふことで置き換へられて、一層廣濶な數學的基礎のうへに据ゑられた。私達はこの事實が相對性原理の自然法則としての必然性をどんなに高めてゐるかを深く悟らなければなるまい。私は斯樣

な見方で、法則の必然性の意義を徹底せしめることによりて、自然の唯一性を理解し、之と數學の公理系統との關係を新らしく究めてゆきたいと思つてゐる。

五

物理的作用が空間を隔てて物體間にあらはれる場合に必ず有限な速度で傳はるといふ事實は、謂はゆる作用の遠隔性を否定するものである。すべての作用は近接的に相隣れる場處へのみ及ぶことが出來るとすることは今日殆ど疑を容れる餘地がない。最初この近接作用の思想が物理學に導き入れられたときには、之は空間に於て一種の媒質の存在を示すものであると解せられ、エーテルといふ假想的物質によりて眞空が塡充せられたのである。併し物質の存在しない空間は現象的にも空虛でなければならないと云ふやうな概念は、實在の空間

に對して固執される必要はなくなつた。物質の周圍の空間はその力の場、從つてエネルギーの所在でなければならないと云ふことは漸く明らかになつたと共に、相對性原理は各の物質を離れて存在すべきエーテルを否定してしまつた。近接作用の傳播する場處は卽ち私達の認識する物理的空間に外ならないのである。

此の物理學の理論の推移に對して、幾何學の理論の發展を比較することは極めて興味深いことである。その間に單なる類推ではなくて、物理學の法則が最後に四次元世界の幾何學の論理關係と融合すべきことを思ふときに、特に至大の意味を感ぜずにはゐられないのである。

古來のユークリッド幾何學は一の遠隔幾何學（Fern-Geometrie）である。そこには幾何學的形象の對比がどんなに遠く離れてゐやうとも、空間を隔ててそ

何學は或る意味に於て近接幾何學（Nahe-Geometrie）である。そこでは極微な空間的形象を定むる要素が、只近接的に相隣つた場處毎に對比せられて然る後漸次遠方のものへ及ぼすことが出來る。丁度ユークリッド幾何學がだんだんに理論の發達に伴つて斯樣な微分幾何學に移つて行つたのは、物理學に於て遠隔作用が廢れてすべての力が近接作用によりてその說明を見出して行くやうになつたのに對比される。そればかりでなく相對性原理に於て光速度不變の假定から更にその變化する場合に擴げられて行つたのも、ミンコフスキーの四次元世界の性質が、遠隔幾何學から近接幾何學によりてあらはされるやうに推移したのに外ならないのである。

リーマンの幾何學は一の近接幾何學にには相違ないけれども、そこには空間の

なかの極微な距離は全く不變の大さを保つてゐる。夫れ故に此の距離の大さに關して遠隔的に對比することが出來る譯である。此の意味でそれはまだ純粹な近接幾何學とは云へない。近ごろワイルといふ人は幾何學を純粹に近接的なものに徹底せしめ、さうして之を空間的時間的の世界に應用することによりて相對性原理を擴張し、依りて萬有引力ばかりでなく電磁氣力をも幾何學的に解釋しやうと試みてゐる。萬有引力のある場處では世界空間は近接的に歪みを受けるけれどもリーマンの與ふる如く極微な距離の大さは變らない。併しそこに電磁氣力があると後者が近接的に變つてゆく。彼は斯う云ふ見解のもとに現在物質の組成分として知られてゐる電子の秘奥を拓かうとしてゐる。私はそれに多大の興味を惹かずにはゐられない。

アインスタインの相對性原理に關しては尙ほ多少の論議のあるべきことは當

然であるかも知れない。萬有引力を世界空間の歪みによりて解するとしても、彼の主張する如く、逆に世界空間のあらゆる可能的な歪みが萬有引力として物理的に解し得べきものであるかどうかに就ては、私は特に疑をもつてゐる。さうして此の疑問の解決は力の實在性といふことに重大な關係をもつてゐることをも想つて居る。併しながら物理的法則がミンコスフキーの世界のなかに於て、幾何學的な共變的關係として云ひあらはし得べきことを主張する限り、相對性原理は少くとも私には既にあらゆる疑問を超越したものとして肯定せられる。そこに法則の絶對性と普遍性とさうして必然性とが恐らくはその最も正當な理解を出し得ることを深く想ふからである。

（一九二一年一月）

相對性原理の眞髓

アインスタインの相對性原理に關する通俗的な説明は、いま私たちのまへにもかなりに行きわたつたことと思ひます。併もその深奥な内容はなか〳〵短時日の間に了解することは困難であるに違ひありません。それでもおほくの人々がこの驚異すべき原理についてなるべく確かに知らうとする希ひは、決して否むべきことではなくて、却つてあらゆる方法をもつてそれぞれの人に都合のいゝ手だてを採らしめるのがいゝことであると思ひます。たゞ私の見る處では一くちにこの原理として云ひ解かれてゐるものゝなかに、いろ〳〵な驚くべき事實が含まれてゐるので、それらに對して眼を眩ぜられて、はどこにこの原理の眞髓がとほつてゐるかを、たやすく見究められないやうな人々が、かなりに多

いのではないかと思はれてなりません。それらの人たちの疑問を減ずるために、私はこゝでなるべく分析的にこの原理の意味を說明してみたいと思ひます。私の趣旨がどれほど達せられるか、判りませんけれど、いくらかの人々の要求に觸れることが出來れば幸と思ひます。

私は先づ相對性といふことに就いて說いておかなければなりません。人間の個性の相異を認め、それと同時に個性的人間の平等を主張するならば、それらの人間の素朴的にもつすべての感覺、すべての知識、さうしてまたすべての要求に對して相對性の成り立つことは當然の結果でなければなりません。めいめいの人々にとりてその素朴的の感覺や知識や要求はそのまゝ相對的に眞實なのでありませう。さうしてめい〳〵が相對的に平等である限り、そのうちのど

れがほんとうで、どれが間違つてゐるかを批判すべき根據のありやうがありません。この根據をつくるためには何か絕對なものが必要であるからです。

私は茲に一言を加へなければならぬと思ふことは、個性の相異は經驗的事實として誰しもゆるすことであるに拘らず、一方に個性的人間の平等といふことは一つの假定に外ならないのです。この假定を是認するかどうかによりて、相對論と絕對論とへの向背が決せられるのでありませう。併し能く分析して見ますと、平等と云ふのはこの場合には決して能力の相等しいことを云ひあらはすのではなくて、勿論個性的差別の存在を肯定した上で、尙ほ各個性的人間には平等的にそれぞれ獨立の主觀的能動の備はれることを云ひあらはすものでなければなりません。この能動が全く獨立に各人の內部にのみ發せられ、斷じて他

の强要をゆるさない權利をもつてゐると云ふことなのです。この意味で平等的な權利といふことを、能力の程度に隷屬する差別的な權利ととり違へてはなりません。ともかくさう云ふつもりで平等といふ意味を解するなら、私たちはすべて相對論に歸趨しなければならないことは、多く言を費す必要もないでありませう。

ところで各人がみんな相對的な感覺や知識のみをもつてゐたとしたなら、それはめい〳〵獨立な別々な世界に棲んでゐるやうなものです。蟲や獸のそれと私たちのと異ふやうにその間に何の交渉もないことになるでせう。人間が相集りて一つの文化をつくり上げてゆくためには、各人の知識の間に何らかの聯結がなくてはなりません。それは卽ち人間全體に亘りて存在すべき普遍性に外な

らないのです。私たち人間はみんな個性的にちがつてゐる感覺や知識のなかに普遍的の要素の多分に含まれてゐるのを經驗してゐます。さうして相對的に異つてゐる各の素朴的な觀察から、或る普遍的な關係を抽象し得たなら、それが即ち私たち人間にとつて絕對であり普遍的眞でなければならないのでせう。かやうにして相對論的に論結せられた絕對や眞はつまりこの人間の文化の成立を前提とした普遍といふことに外ならないのです。

科學といふものはこの人間の普遍的な知識の組織だてられた體系なのでありませう。それですからたとへば自然科學に於ける觀測者の感覺は全く普遍的なものとして假定せられてゐます。從つて各の觀測者はこの場合には若し彼等が同一の自然環境におかれてゐるならば個性的の差別を絕した平等さをもつてゐる

のです。それで個性の相異に相當してこゝでは自然的狀況の相異が考慮せられます。若しこの相異つた自然的狀況にある各の觀測者の平等を認めるならば、こゝに相對性が成立たなければなりません。そうしてそれらの狀況の孰れにも絕對の意味を附けることが出來なくなるでせう。

例へば私たちが平面や凹面や凸面をなしたいろ〳〵な鏡をもつてゐて、常に之に映してのみ物體の形象を見ると想像してみませう。各の鏡に映つた形はみんな異ふでせうけれども、どれが物體のほんとうの影像でなければならないと云ふ絕對な準據はないのです。それぞれの鏡にとりてその像はみんな相對的に眞なのです私たちは併し各の鏡に映じたいろ〳〵な物體の影像の間に深く考究して行つたなら、或る普遍的な關係を見出すことが出來るでせう。それはみん

なの鏡に通ずるものでなくてはなりません。そうしてこれが鏡の如何に關しない絶對なのであり、普遍的眞なのであります。科學的實在としての自然法則といふものは斯やうにして成立してゆくのです。

觀測者がお互に運動してゐる場合にも同樣であります。それらの人たちから見る、といろ〳〵な現象はお互にちがつて見えるでせうけれども、たとへばその人たちに對して動く他の物體の速さの如きは明らかにちがふのですが、どちらの速さが物體のほんとうの速さであると云ふやうなことは無意味です。みんなそれぞれの觀測者に對する速さといふものが意味あるだけです。この場合に各人の立場の平等さを假定する限り運動の相對性は成立たなければならない筈でした。併しそれに反して之等の人々から見て力と加速度との關係はみんな同一

に判定されます。つまり普遍的の關係なのです。そうしてそれが力學の法則としてガリレイやニウトンによりて云ひあらはされて來たものに外ありません。

すべての現象の相對性と、さうしてそのなかに存在する普遍的實在卽ち眞に關しては以上說いた處で大體明らかでありませう。そこには觀測者の平等が認容せられる限り、必ずしもアインスタインを待つことなしに相對論が發展せられ得たことであつたのです。ガリレイやニウトンは明らかに運動に關する一つの相對性原理の主張者であり信仰者であつたのです。

運動に關するガリレイやニウトンの相對性原理がなぜ損はれやうとしたか。それはお互に運動せる觀測者の平等が或事情のために失はれやうとしたからで

す。光や電磁氣を傳へる宇宙エーテルなるものが假想せられ、之に對して動かない觀測者と、動いてゐるそれらとの間に、光や電磁氣現象に關する差別のあるのが當然だとせられたからです。宇宙エーテルなるものが或る意味で絕對者としてあらはれることによりて運動に對する相對性原理の危機が醸されたのでした。

こゝで問題は少し複雜になります。宇宙エーテルは、感覺的對象ではなくて、却つて單なる思惟的所産に過ぎなかつたのです。之れが所在をもとめやうとするあらゆる實驗は失敗に終りました。それでも尙ほかやうなエーテルを假想しなければならない理由はどこにあつたのでせうか。運動に對するガリレイ・ニウトンの相對性原理を、せめて純粹の力學的現象だけには保存させたかつたからであります。そうしてその結果は光及び電磁氣現象に就ては宇宙エー

テルの存在を介して惜しげもなく運動の相對性を捨てゝしまつたのです。

恐らくはこれが從來の私たちの踏み進んで來た歩道の當然の延長なのでありました。その當面に隱在しやうとした危い罅隙を一生懸命に神祕的な宇宙エーテルによりて塡充しながら、昔のまゝに相對性原理の內容を守護しやうとしてゐたのです。併しエーテルとは果してどんなものであるかと銳く訊ねられたときに、彼等の辯解のなかには、自分の論理の缺陷を蔽はうとするために、知らずく科學を超越した神祕性を依賴しやうとさへしないでもなかつたのでせう。

私はこゝまで來てアインスタインの仕事の意味をやや判きりと云ふことが出

來るやうに思ひます。彼の仕事は謂ふまでもなく相對性原理そのものゝ創始ではありません。寧ろ相對性原理の內容の更正であります。ガリレイ・ニウトンの相對性原理は、アインスタインのから見れば極めて偏倚的なものでありました。アインスタインは之を更正すると共に、之が更正の可能を新らしく私たちに敎へたのでした。このことは哲學的にも非常に大切なことであると私は思ひます。

殆ど公理的にも信ぜられてゐたガリレイ・ニウトンの相對性が何らかのちがつた內容をもつやうに更正し得るものと思つてゐた人は恐らくないと云つてもよかつたでせう。それは舊來の時間とか空間とかに對するとは全く異つた新らしい概念を必要としたからでした。偶々宇宙エーテルの難問に苦しめられて和

蘭のローレンツの如き人はとう〱さう云ふ概念をつくり上げはしましたが、それでも昔からの柵のまへに一歩を踏み止まつたのでした。ガリレイ。ニウトンの原理はまだ捨てるには早いと思つたのでした。ところがアインスタインはこの柵を大膽に蹂み破つてしまつたのです。宇宙エーテルを捨ててしまつてすべての眞空現象に對して運動の相對性を押し立てやうとしたのです。ガリレイ。ニウトンの力學法則よりも、もつと普遍的な關係として保持しなければならないものを光と電磁氣現象との法則に選んだのでした。アインスタインの最初の仕事は實に斯樣な内容に於て新らしい相對性原理をつくり上げたことにあるのです。

ガリレイ。ニウトンのに對比してなぜアインスタインの相對性原理の方がよ

り適切であるかと云ふ問題は、種々の實驗上の事實に相當すべき自然法則の體系が、前者よりも後者に基づいてつくられたときに、整美な數學的論理の體系に融合させることが出來るといふことに、その解答を歸せなければなるまいと思ひます。私たちの最も普遍的な知識としての數學の整齊完美な論理關係のなかに、自然現象の間に經驗せられた概念的關係を模象（abbilden）するといふことが、自然科學の窮極の目的であるとする以上、このことはたやすく首肯することが出來るでせう。ミンコフスキーがその有名な「空間及び時間」といふ講演のなかにアインスタインの相對性原理をもつて「純正數學の異常なる勝利」と云ふたほんとうの意味も之に外ならないのであると私は思ひます。

アインスタインの最初の相對性原理、それは今日彼自らが特殊的若くは制限

的と名づけてゐるものですが、この最初の原理から更らに廣い一般的な相對性原理に進んだことは、相對性原理の內容が第二段の更正をうけたと云ふことに歸着いたします。さきの第一段の更正に於て私たちのまへに示された驚異は空間及び時間の概念の變革でありましたが第二段の更正の場合に再び驚異せねばならなかつたことは力とか加速度とかいふ普遍的概念が、恰も嘗て私たちが速度などに就て思惟した如く、單に個々の觀測者に依存する相對的概念に過ぎないとせられたことであります。之に附隨して物質の惰性的質量といふやうな概念をさへ、アインスタインはもはや物質に固有なものでなく、觀測者による相對的概念と見なしてしまひました。さうして私たちは力學の法則を昔のガリレイ・ニウトンの創めた形式でなく、もつと普遍的な形式に於いてもとめなければならないやうになりました。アインスタインはこの普遍的關係を、幾何學の

微分的不變式に見出したのです。之等の微分的關係をあらはした諸式はどんな獨立變數を用ゐやうともすべて同一の普遍形式でいひあらはされるのです。私たちが時間や空間の座標をその獨立變數として自然法則を云ひあらはすとき、どんな座標を用ゐても、言ひ換へればどんな觀測者から見ても、それが同一になるためには、法則は卽ちこの微分的不變理論（Differentialinvariantentheorie）の與ふる諸式であらはされなければなりません。自然の事實はこの數學的關係によりて模象することが出來るといふのがアインスタインの到達した相對性原理の最後の形なのであります。

つまりアインスタインの仕事は、物理現象に關して相對性原理の內容をここまで押し擴めて行つて、さうして普遍的關係として自然法則を數學の普遍的な

論理關係のなかに安住せしめたことにあるのです。私たちはこゝに異常なる深い意味を感得しなければなりません。

以上述べた處によりて私は次のことを明瞭にさせたいと思ふのです。

相對論に於ては先づ觀測者卽ち各個人の相對性がゆるされることが必要です。さうしてこれによりて各個人に依存する相對的概念がつくられます。次にこのいろ〳〵な相對的概念を連結する關係のうちで、すべての個人に共通な普遍的關係が見出されたとき、始めて一定の内容の相對性原理が立てられるのです。かやうにしてこの原理を具體的な一定の形につくりあげるのが、相對論者の仕事でなければなりません。

アインスタインは昔のガリレイ・ニウトンの原理が唯一のものでないことを

示したばかりでなく、之を更正することによりて最も深大な、數學的基礎に安住する新らしい相對性原理に達し得ることを敎へたのです。

この相對性原理の內容を詳しく示すことはいま私の目的ではありません。たゞこの原理の眞髓がどこにあるか、又それをアインスタインが成就したことがどんな意味をもつてゐるかを述べやうとしたのでした。

私は最初に一般の文化現象に關しても相對論の成立つであらうことを云ひました。それらの相對性がゆるされた場合に、どんな普遍的關係が具體的にもとめられるかといふことが、私たちに取つて大切な問題なのであります。之を正しく解するものがアインスタインたり得るのです、相對論にとりて眞理として

崇信せらるべきものはこの普遍的關係に外ならないのです。現在私たちに先驗的に遺されてゐるいろ〳〵な「眞」の內容に關して、私たちは先づ之を「信ずる」まへにその更正の可能を問はなければなりますまい

相對論は決して絕對や眞を否定するものではありません。それらを普遍的に新らしく建設するものであります。絕えず新らしく、さうして窮極的に索めゆくものでなければなりません。すべてのアップリオリはその本來の絕對性を保持することは出來ないのですけれども。それが相對論的の見方から批判せられ分析せられて、新らしい普遍として再び認識せられるときに、始めて窮極的な絕對としてその價値を永遠に保證せられることが出來るのでせう。かやうにして完たき神性は限りなく私たちの心のなかに生きてゆくのです。

（一九二一年九月）

アインスタインの宇宙論と思惟の究極

一

私たちはこの現實に生きて審さにそのありの儘の姿を見て行きますと、そこにすべての完たきものを見出し得ないことに、しみじみと悲哀を感ぜずにはゐられません。深く考へるものに取りてそれはまた堪へ難い苦惱なのでありますす。永遠なるものへの憧がれ、究極なるものへの理想を求めることは、ほんとうに私たちのいのちの救ひでなければなりません。

私たちはこの現實に何故に完たきものを見出し得ないかを尋ねて見ることが必要です。それは恐らく現實にはたらく私たちの個性そのもの、從つてまた對象に接受する感性そのものに於ける缺陷に基くのでありませう。私等は自分た

ちの貧しいいのちのなかに、完たきものの俤を探りもとめて、その究極としての普遍的な神性を想像し、敬虔な祈禱をもつて之を思慕讃仰することによりて、そのはるかな理想への道を辿らうとしてゐます。なほまた私たちは個々の異れる感受性のなかから永久的な不變的なものを抽き出して、あらゆる自然の相を確實に認識することに努めてゐます、この認識の成果としての自然科學はその絕對的な普遍的な意味に於て、直に私たちの理想的神性に屬する知識でなければなりません。かやうにして科學に於ける崇高嚴肅な感じは宗教に於けるそれと相通ずるものであることが了解せられるでせう。そこに私たちは自分等の思惟の究極の向ふ處を仰視することが出來ます。

二

究極なるものを求めてゆくとき、私たちは先づ自分等のいのちの棲息する現

實の宇宙の大さと深さとその內容の細かさとに眼を惹かれずにはゐられません。あの燦然としたおほくの星を包容する天空はどこまで大きく廣いのでありませうか。顯微鏡下に錯雜するいろ〳〵な物質の組織はどこまで細密なのでありませうか。私たちは次で現象の諸相をながめます。さうしてそのあらゆる變轉を現前する時相は果して何れの遠きに始まりて、いつまで續いてゆくのであらうかを思ひ究めますと、そゞろに神秘の世界に導かれずにはゐられません。

併しながら神は現實を離れて天上に孤立するものではないのです。私たちの勝手氣儘な想像がほんとうの神を生むものではないからであります。私たちの普遍的な思惟の究極こそ神の知識と合致するものなのです。私たちのひたすらな努力が之に向ふときに、いままで神秘のかなたに閉ぢられてゐたものもやがて私たちの現實のまへに啓かれるやうになるのです。さうしてぼんやりとして

ゐた想像の幻影が、寧ろ瞭きりした實在のすがたとしてあらはれるやうになります。思惟の究極を必然なるものとして私たちに持ち來すときに、私たちはしみじみと科學の驚異を自分ながらに感得せずにはゐられません。

三

「今日の幾何學者は無限の距離に於て實際に存在する空間の性質に關して何ごとをも知りません。彼はこの現在の空間が永劫の過去及び未來に於てどんな性質をもつかを知りません。……彼は只此處と現在とに於けるものとしてそれを知つてゐるだけです。けれど彼の範圍を越えて今何ごとをも知らない彼處と彼時とがあります。やがては夫れを知るときが來るでありませう。」

これは今から五十年前にその當時の新らしい幾何學に關してクリッフォード

が云つた言葉でした。その當時の人々に先だつて彼は既にユークリッドの幾何學の成り立つ空間とは異つた性質をもつた一般の空間について多くを知つてゐたのです。併しそれが私たちの經驗する實在の空間とどんな關係をもつてゐるかはまだ當時に於ては判りませんでした。

細微な物質の究極として私たちは、分子や原子や電子を知るやうになりました。それらはどんないゝ顯微鏡でも見ることが出來ないし、またその一つびとつを私たちの手に取り出すことも出來ませんけれど、いろ〳〵な現象から推してそれらの存在はもはや疑ふことの出來ないものとなつてしまひました。數十年前の「假說」はいまではもう實在的な事實となつてゐるのです。電子の研究は日每に精細になつて來ました。直接に物指をあてゝ測ることは出來なくとも私たちは電子球の直徑が凡そ 0,0000 0000 0000 37 糎ばかりあることを知つ

てゐます。電子の一粒を天秤に載せなくても、その質量が 0,0000 0000 0000 0000 0000 0000 0009瓦程であることを測定することが出來ました。かやうにして小さな究極の世界はかなり私たちに親しくなされました。

　之に反して限りなく大きな宇宙の空間に關しては私たちの知識は著しく貧しさを感じます。どんな優れた望遠鏡もゝはや或る星よりもつと幽かな光を送るものを見出すことは出來ません。さうしてそれらからは光の外に何の物理的作用をも私たちに傳へては來ないのです。私たちはどうしてそれよりも遙な宇宙の限界を知ることが出來るでせうか。私たちが既に觀測してゐる最も遠い星は螺狀星雲といふものであつて、その距離は恐らく百萬光年(一光年は光が一年間に通過する距離です)ぐらゐであらうと思ひます。これ程な遠い空間ですけれど、そのかなたにもはや星が一つも存在しないとはどうしても考へられないこ

とです。それならばどこまで星が擴がつてゐるでせうか。若し星の擴がつてゐる場處が或る距離までで終るとしたならば、それを踰えて何もない空間がやはりどこまでも限りなく續いてゐるでせうか。

空間から更に時間に移つてゆきますと、私たちは尙ほ一層直接の知識を得る手段が限られてしまひます。私たちは過去へも未來へも一歩も踏み出す事が出來ません。只過去に何事があつたかは、僅かに記錄の存する限り知ることが出來るだけです。地質學的に若くは天文學的に遺された現在の狀態のなかにその記錄を讀み得るとすれば、それによりて辛うじて稍遠く溯ることが出來るでもありませう。けれどその外にもう何の手段も見出せないのです。未來に亘りてはその最も近い明日でさへ私たちは絕對に經驗することが出來ません。どうしてこの世界の始と終りとを究めることが出來るでありませうか。

私はこゝで次の重要なる事項に注意を喚び起したいと思ひます。若し自然法則が單に經驗的事實を統一した關係に過ぎないならば、之から私たちの經驗を超越する範圍に對して或る結論を導くことは全然無意味に歸するのでありませう。經驗の達し得ない處に尙ほ自然法則が意味をもつためには、之に相當する理由がなくてはなりません。即ち自然法則は經驗的事實に合致すると云ふことの外に、尙ほ思惟の或る要求を滿足することが必要なのであります。之れあるがために私たちは思惟の究極として超經驗的事實を豫察することが出來るのです。

四

自然法則の滿足すべき思惟の要求は何であるかと云ふことに對して、私は絕對、普遍、實在、必然などの諸性質を自然に附與すべきことに外ならないと解

したいと思ひます。之等は皆同一性質の種々のあらはれとも見做すことが出來るのですが、要するにそれが自然を直接に神に屬するものとして認め得る最も適切の表徴であると私は信じます。相對性原理が自然法則の絶對性を由來すべきことを私は既に論じました。この意味に於て私はその原理を自然法則の體系の基礎におくことの至當であることをも思ふものであります。

狹く限られた空間及び時間のなかで私たちの經驗的事實と一致する樣に見出された自然法則は、之を限りなく廣い範圍に押し擴げたときに尙ほ誤を生じないかどうかは、頗る注意しなければなりません。地平面上に描いた小さな三角形がユークリッド幾何學に從ふこと、卽ちその內角の和が二直角であることを經驗したとしても、地平面をどこまでも廣く想像したときに、それは最早ユークリッドの平面ではなくて、却つて之と異つた球面になることを見出すでせ

う。假に地平面の極めて狹い部分しか經驗し得ないい觀測者があつたとしたなら、彼にとりて、之が球面であることを結論するためには、恐らく地球構造に關する必然的な或る指導原理が必要であつたのでもありませう。私たちの宇宙に對するのも之と全く同樣であります。

いろ〳〵な理論の可能性がある場合に、經驗に依ることなしに、どれが最も適切であるかを判斷することは極めて困難な問題です。私たちは宇宙論の如き場合に多くかやうな難かしさに逢着しなければなりません。

五

私はアインスタインの宇宙論を述べる前に先づボルツマンの宇宙論を簡單にこゝに說明しておく必要があると思ひます。

ボルツマンは墺國に生れた人で十九世紀後半に於ける最も偉大な理論物理學

者の一人です。彼は熱力學の原理から氣體論の研究に入り、遂に統計力學を大成して自然現象の非可逆性の説明を見出したのでした。

熱力學第二法則は自然現象の非可逆的であることを示してゐます。自然に於けるあらゆるエネルギーはみんな摩擦や抵抗のために熱のエネルギーに變つてゆきます。さうして熱はつねに溫度の高い處から低い方へ移動して行つて、平衡狀態をつくらうとします。熱が到る處に平均されてしまつた後には、もはやエネルギーの移動は起さうとしても起らないのです。エネルギーは失はれなくとも自然はかやうにして終に死滅してしまはなければなりません、斯う云ふ自然死滅の說は熱力學の經驗から論結されたものでありましたが、之はその死滅のみをもの語るだけであつて、自然創生の因由には少しも觸れてゐません。何の原理に從つて自然は今在る狀態に導かれたのでありませうか。この原理が何

か求められたとしてもそれは熱力學の法則に矛盾しはしないでせうか。之は恐らく物理學の歴史にあらはれた最も困難な問題の一つに違ひなかつたのです。

ボルツマンは自然の非可逆性を「偶然」の法則によりて説明しやうとしたのです。すべての物質はたくさんの分子から構成せられてゐます。それらの分子が相互作用のもとに自由に動き得るとしたならば、それらの取るべき位置や運動の狀態は全體を見亘ずならば偶然の法則に支配せられてゆくのでせう。若し最初の狀態が著しく偏極したものであつても、それはだん〳〵と平均されて行つて、遂には一樣な狀態になるのでありませう。之が謂はゆる熱平衡に外ならないのです。この見方から云へば熱力學の法則は、自然が偶然の法則に從つてその最も起り易い有樣に導かれると云ふことに歸するのであります。自然現象がその一定の方向にのみ經驗的にあらはれると云ふのは、それがあらゆる可能の

變化のうちで最も多く實現し易い偶然さをもつてゐるからなのです。この偶然さの實現する程度は現象に與かる個々の分子の數が多ければ多い程、非常に增大します。實際に物質の分子の數はその分子量をaと假定しますと、a瓦(グラム)中に1000 0000 0000 0000 0000 0000 個程もあるのですから、今申しました偶然さはその度を驚くべく增して、殆ど必然的に現はれると謂つてよい位です。熱力學の第二法則の意味が斯樣なものであることが明らかにされたのは、まことに著しいことであつて、個々の分子間の現象が悉く可逆的であるに拘らず、その多數の集合體系の上に於てのみ非可逆性のあらはれることを極めて自然に解釋することが出來たのです。

　併しながら熱力學の法則は要するに偶然の法則に從ふものである以上は、たとへその實現する偶然さが非常に確かであるとは云つても、尙ほその本質上、

他の物理學の法則の絶對に必然なるものとは性質を異にしてゐるのです。さうして或る極めて稀な場合には之に反する現象が實現し得ることをゆるさなければなりますまい。之は偶然の法則からの當然の結果なのです。解り易い例を玆に引いて見ますと、たとへばたくさんの人間の生存してゐる私たちの社會集團のうへで、それらの人間が各どれ程の壽命を保つべきかを偶然の法則から計算するならば、それに基づいて生命保險の豫想が安全に成り立つことを私たちは經驗してゐます。人間の數が多ければ多い程その安全さは增すのです。けれどもどんなに確實に生命保險は成り立つにしても、それは畢竟偶然の法則に支配されるのであつて、從つてすべての人間がその豫想された壽命をもたない偶然さも決して絶無ではないのです。ボルツマンが指摘したやうに、地上のあらゆる人間が同時刻に自殺をすると云ふ偶然さの如きも決して絶對にないとは云ひ

斷ることは出來ません。どんなに稀有な場合だとしてもそれが起る偶然さはやはりいくらかは存在してゐるのです。若し人間の數の極めて少ない範圍に限つてしまふなら最早平均壽命の計算を個々の場合に當て篏めることが困難になるのは明らかでありませう。物理現象に於ても同樣です。分子の數の極少ない部分を觀察するなら、熱平衡の狀態から外れる事實をいくらも目擊することが出來る筈です。水を充した器のなかでその平衡狀態では到る處密度も溫度も等しくなければならないにも拘らず、その極めて小さな各部分を取ればそのなかの密度や溫度が平均の値から外れてゐることは、敢て驚くに足らないのです。ブラウン運動の現象や蛋白光の現象の如きは之を明確に證明するものとして注目されました。

廣大な宇宙を眼に入れますと、そのなかの個々の要素が尨大なだけに、之が

全體として偶然の法則に支配されて、一定の熱平衡の狀態に向ふことは益確實になりますけれども、併しそのいろ〳〵な部分に於て、平均狀態から外れる樣なことの起り得る偶然さは決して絕對にないとは云はれません。從つてそれはどんなに稀有なものではあつても、いつかさう云ふ場合が實現しないとは限らないのです。ボルツマンはこゝに世界の創生の因由をもとめたのでした。限りない大宇宙の何れの所かに或る偶然さをもつて平衡ならざる狀態があらはれてゐるならば、それは一つの自然現象の世界がそこに發生したものなのです。その世界に生存する知的生物はそのなかの現象を觀測して、現象が平衡狀態に近づくやうな「時」の方向を過去より未來への方向と判斷するでありませう。かやうにして各の可能な世界のなかで自然現象は常に一定の平衡狀態に向つて進むやうになります。さうして熱力學の法則がそこに成り立つのです。

ボルッヤンの大宇宙は時の始終を超越したものです。このなかに自然の創生と死滅とは偶然の法則に從つてあらはれるのです。私たちは分子論の生んだこの偉大なる結論を深く味ふときに、莊嚴なる科學に於て思惟の究極の到達する彼岸を、今更に遙かに望視し得るよろこびを感ずるでもありませう。

六

アインスタインの宇宙論に就いては私は前文に既に數言を費しました。それは彼の相對性萬有引力論から導かれたものであります。そこには私たちの背て想像だもしなかつた關係、卽ち宇宙の空間そのものと、之を充す全物質との必然の結合が導かれた點に於て異常なる驚異に値すると云はなければなりません。

ニウトンの萬有引力論は宇宙の全天體がその或る一點を中心として集團をつ

くることを要求しました。この中心を遠ざかるに從つて空間に於ける天體の密度は漸々に減じてゆくと假定されなければなりません、若し然うでなければ萬有引力の强さが無限の遠方で無限に大きくなつてしまふのです。この結果は或る場處で引力の大さが不定になるでありませう。併し之を避けるために前述のやうな集團を假定するとすれば、それは何故に宇宙の無限の空間のなかに孤立してゐるかと云ふ疑問に對して、答へに窮しなければなりますまい。何故ならば若しこの集團がボルツマンの大宇宙のなかに於ける一つの世界であると解するなら、之だけが宇宙の全物體でなくて尙ほ他にも同樣な集團のたくさんに存在することをゆるさなければなりません。さうして更にそれらの全體を考慮したときに、やはり最初に於けると同樣の困難に衝き當ります。之に反して若し全宇宙のなかに私たちの天體の集團のみが孤立するとすれば、それはたとへ偶然に

存在してゐるとしても永久に保たるべきものではありません。集團の外方にある天體のうちにはその自分の運動のために永久にこの集團を去りて遠く散逸しゆくものがたくさん在るでせう。さうして終には悉くの天體が宇宙に一樣に散つてしまふより外ありません。これがボルツマンの理論に合する平衡狀態なのです。つまりニウトンの萬有引力論による天體分布の密度は限りない宇宙の空間に平均したときに無になつてしまはなければなりません。

アインスタインの宇宙論におきましては、天體を全宇宙に一樣に散在すると見なしたときに、その平均密度が零でなくて有限の値をもつてゐることが許されるのです。それにも拘らず萬有引力の强さは到る處に無限大にはなりません。この結果がどこから由來するかと云ひますと、彼の理論によれば物質の存在する場處ではその空間が或る曲率を有する樣に歪むからなのです。物質の平

均密度に應じて宇宙の全空間は一様の曲率を得ますから恰も二次元の球面のやうに宇宙は平均に於て三次元の球面空間をつくります。從つて宇宙は有限の體積をもつて居り、そのなかの一點から引かれた直線（最短距離をあらはす線）は之を延ばすと有限の長さをもつて元の點に戻つて來るのです。尙ほ彼の理論から計算すれば、この球空間の曲率半徑は宇宙の全物質の質量に比例するものであつて、夫れ故に若し物質が全く存在しないとすれば球空間は凝縮して一點に歸してしまひ、又物質が多ければ多い程、之を容れる空間が大きくなるのであります。

この關係は極めて興味ある想察を私たちにゆるすものであります。宇宙の空間と之が包容する物質との相互の關聯に就て、誰が意味なしに看過ごすことが出來たでせう。併しながら私たちが尙之に關して深い省察を行ふときに、そこ

に多少の疑問が起らずにはゐません。宇宙の曲率半徑は種々の事情から恐らく太陽と地球との距離の 10 0000 0000 0000 倍程あるだらうと想像せられます。之れだけの球空間をつくるためにはそのなかに存在すべき物質の總量は非常に大きくなければなりません。私たちが諸天體の總質量をいかに大きく見積つても到底之に充分であるとは思はれない程なのです。つまりアインスタインの理論を肯定するためには、私たちが現に觀測するすべての天體以外に遙かに尨大なる物質が宇宙に存在することを假定しなければなりません。之が疑の一つです。尙ほまた或る星から發した光線は球空間を一廻りして丁度反對の極に焦點をつくりますから、一つの星に對する影像がもう一つ成り立つわけです。併し光線が球空間を一廻りするには凡そ 10 0000 0000 光年を費しますから、この影像は現在の星の位置に相當するのではなく、之だけの年數以前に於ける星の

位置に相當する場處にあらはれます。夫故若しこの影像の位置と現在の星の位置との差異を測れば、その期間に於ける星の絶對運動が判るでせう。此のことは相對性原理と矛盾するものではないかと云ふのが疑の第二です。勿論實際には光線は途中の屈曲や散亂によりて正しい影像をつくらないかも知れませんが、それがため上述の理論上の矛盾は決してなくなりはしません。

第一の疑は單に觀測的事實に關するものですが、第二の疑は星の影像が實際にあらはれるかどうかと云ふ事實上の問題を措くとしても、尚ほ純粹に理論上の矛盾に關聯してゐます。私はこの矛盾の原因を考慮して、アインスタインが宇宙の全物質の相對的に靜止せる座標系（觀測者）を假定したのに歸すべきであると思ひます。かやうな座標系は既に他の座標系に對し特種のものであつて、之が絶對運動を表徵すべき前提となつてゐるのであります。さうしてこの

假定は相對性原理それ自らと相容れないものでなければなりません。私たちはこの假定を取り除くことによりてアインスタインの宇宙論を變改する必要を認めるのです。

七

アインスタインの宇宙論におきましては、空間の球狀性を導いてありますけれども、之に反し時間は無限に長く續く直線的の性質をもつてゐることを假定してゐます。すべての自然法則に關して相對性原理は空間と時間との對稱的な性質を示して居り、空間の三次元と時間の一次元とを合せて想描せられたミンコフスキーの四次元の物理學的世界は、あらゆる方向に等しい性質をもつ特徴を認められてゐたのですが、それにも拘らずアインスタインの宇宙論に關して、この四次元世界の特質は失はれたと云はなければなりません。換言すればこ

の四次元世界は、時間の方向にのみ無限に長い擴がりをもつて居り、之に反し空間の方向には之が球空間をつくるために有限にせられてゐますから、この球柱的世界のなかで私たちは絶對的に時間の方向を決定することが出來るわけであります。この意味に於てやはり完全な相對性が失はれて、絶對時間がゆるされてゐるのです。このことは相對性原理の本質上の問題としてアインスタインの宇宙論に疑を挾む餘地をつくるものです。

時間と空間との完全な相對性はミンコフスキーの四次元世界の全體に球狀性を與へることによりて、容易にその實現を期することが出來ます。ド・ジッタ－はこの假定によりて一つの別な宇宙論をつくりました。こゝには空間に於ける直線と共に此間の長さも有限になります。私たちが時間的にどこまでもその經程を趁うてゆくと考へますと、未來の極致はいつの間にか過去の極致と相連

つてゐるのを見出すでありませう。そんなことは無稽なことであると排してはいけません。歴史は繰返さないと云ふ經驗は極めて小さな時間に就てのみ得られたものです。誰が宇宙の全壽命の如何を經驗的に斷言し得るでせう。ボルツマンの宇宙論は既に時間の過去と未來との方向の絶對でないことを敎へました。さうしてジッターの時間有限論は之と相容れるものであることを今知ることが出來ます。

ジッターの理論によりますと、或る一人の觀測者から見て各處の時計の進みは必ずしも等しくはありません。遠方にゆけばゆく程、そこの時計の進みは彼に遲くなつて見えます。彼に對して球空間の反對の極に當る場處になりますと、時計の進みは全く零になります。卽ち彼から見て其處では時間が少しも經過しないことになります。そこではすべての現象がいつまで待つても進行しま

せん。光の速度もそこへゆけばやはり零になつてしまひます。夫れ故或る一點から發した光は觀測者に對する球空間の反對極を超えて先へ進むことは出來ないのです。從つて前に述べたアインスタインの理論と異なつて、星の影像はもはや球空間に再び實現することはありません。

この點に關してはジッターの理論はアインスタインのに比して合理的であるやうに思はれます。併しこの理論では宇宙の全物質の平均密度は零にならなければなりません。從つて世界空間が一定の曲率をもつて球狀になるのは、物質の存在のためでなくて、世界空間それ自體の性質と見做さなければならなくなります。アインスタインの宇宙論にあらはれた空間と物質との微妙な關係はこゝに再び消滅させられてしまふのでした。

ジッターの理論はそれだけから云ふては不合理を含んではゐないのですけれ

ども、「物質の存在しない空間は思惟することが出來ない」と云ふことを主張するマッハの哲學を信ずる人々に取つては、空間と物質とを互に偶然の存在とすることに不滿を感ずるでもありませう。さうして彼等には尙ほこの兩者の相關を說明するアインスタインの宇宙論への執着を感じさせます。それがたとへ相對性原理との矛盾を含むとしましても、之を犧牲にして、卽ち相對性原理を全宇宙に對してゞなく、只限られた範圍にのみ成り立たせても空間と物質との關係を保持しやうとでもするでありませう。ジッターの理論とアインスタインの理論との取捨は、後者の觀測的事實に對する疑問を暫く論外にすれば、各の哲學的論據の何れに傾くかによりて決せられるのであります。

八

アインスタインとジッターとの兩宇宙論を概叙した後に、私は別にもう一つ

の私見を玆に附け加へて見たいと思ひます。

私は相對性原理をどこまでも徹底的に成立せしめたいと思ひます。この點に於てジッターの說に左袒するものであります。併しそれと同時にマッハの主張を次のやうに意味を擴めて參酌しやうと思ふのです。「何等の物理的對象なしに空間を思惟することは出來ない」と。私は物理的對象として通常の物質と共に輻射エネルギーを認めるのが至當であると思ひます。後者のなかには光、熱、電磁氣の波動並びに萬有引力の波動が數へられるので、之等は物質と同樣に質量を有つてゐると解せられます。只物質は各の任意の座標系に關する每に其運動速度や惰性的質量の數値を變へるに反し輻射エネルギーはどんな座標系を取らうとも之等が一定の極限的の量値を與へる特質をもつてゐるのです。若し宇宙空間にこの二種の物理的對象が存在してゐるとするならば、その平均狀態はどう

なるであらうかを考慮してごらんなさい。或る偶然に選んだ座標系に對してすべての物質の平均の運動速度が一定の値をもつとすれば、他の座標系に對してこの速度は異つた値をもつでせう。私たちはすべての座標系のうちからこの速度の零になるやうなものを特に選定することとが出來ます。併し之は明かに座標系の相對性に矛盾するのです。私たちはこの矛盾を取除くために是非とも物質の平均密度は零であることを假定しなければなりません。之に反して輻射エネルギーに就て同樣の考察を行ひますと、その質量の平均密度が有限な値をもつてゐても相對性と相容れ得ることは容易に解せられるでせう。

この假定のもとに四次元の世界空間を球狀であるとしますと、この球の曲率半徑は、輻射エネルギーの總質量に比例すると云ふ結論に導かれます。物質の總質量は之に比して度外視せられる程小さいので、宇宙空間の擴がりと必ずし

も關係しないのですけれど、輻射エネルギーの總量が之に代りて空間と密接に關係するやうになるのです。この結論は次の事實を考へ合せると、尙ほ肯定に都合がいゝと思はれます。

物質の有する熱エネルギーと輻射エネルギーとは相互に交換して熱平衡を保つことが出來ます。物質の總量は最初與へられた限り增減することが出來ないのに反し、輻射エネルギーは溫度が增すと共に增大するのです。世界空間の擴がりはこのエネルギーの量を定めると共に從つて亦宇宙の平均溫度をも決定するものでなければなりません。若し假に世界空間が擴がつて無限大になるとしたなら、そのときに絕對溫度は零となつてしまふでせう。そこに何の變化も起り得ないのです。世界空間が有限になつて始めてそれは或る平均溫度を保ちます。マッハ及びアインスタインが物質に就て考へたことを、こゝではエネルギー

によりて置き代へたのです。さうしてこの事は丁度ボルツマンの宇宙論と相照應すると云ふことをも考へ及ぶと、そこに私は更にこの論の深い重大な意味を感ぜずにはゐられません。

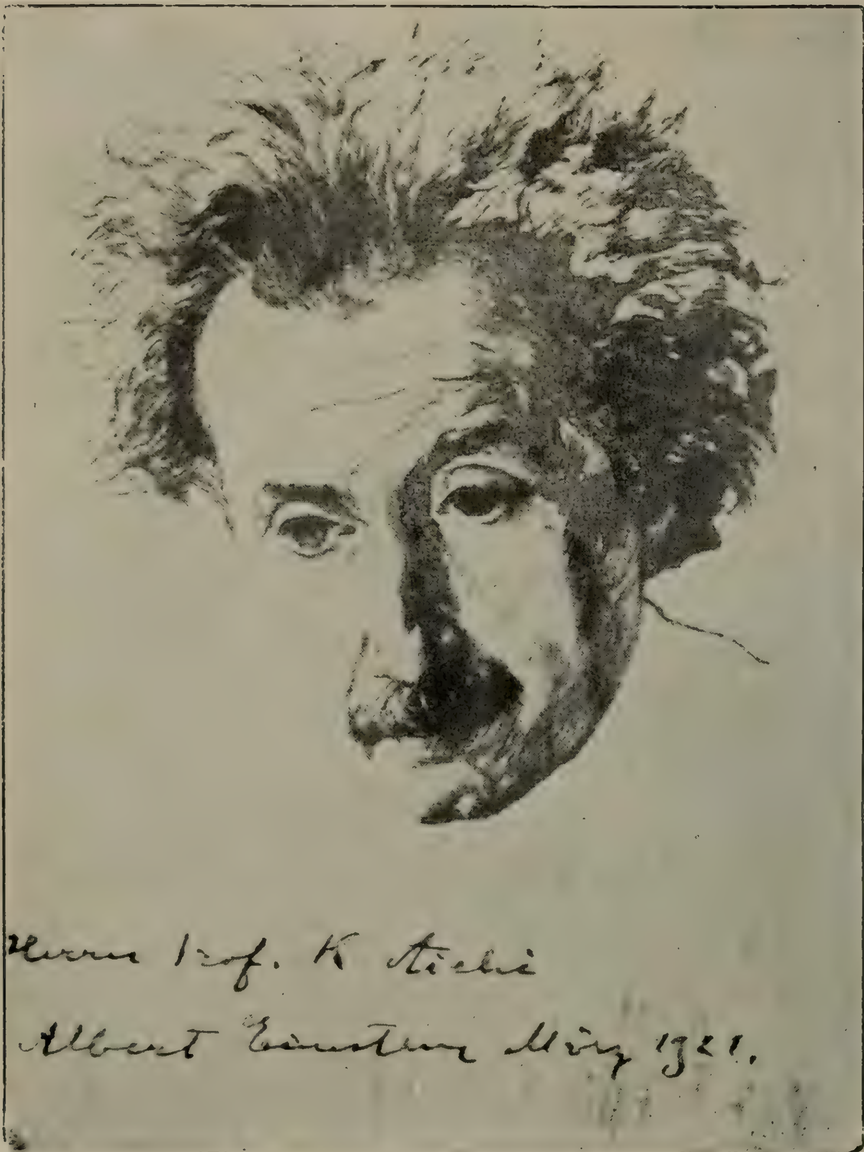
九

私は以上に於て私たちの思惟の究極として到達すべき宇宙論の梗概を述べました。そこには未だ決斷すべき二三の論議が殘されてゐるために、唯一の見解には導かれませんけれども、併し既に多くの驚くべきものを含んでゐることは認められたでせう。自然現象に於ける普遍的な經驗的事實が、嚴肅な哲學的論理の枠に嵌め込まれて自然法則の體系をつくるときに、そこには既に經驗的事實を超越した思惟の作用が含まれてゐることが悟られます。經驗は極めて狹く限られた範圍に於て、いつも近似的にしかなされないのです。私たちは之を理

想的に完全のものにまで補足し、純粹へ抽象して、自然科學をつくります。さうして科學の普遍性や絶對性はそこに生れて來ます。私たちはかやうにして現實から神の世界へと近づくことが出來るのです。思惟の究極としての彼岸を望むときに、私たちは自分みづからのなかに存する神性を見出し得られるのでありませう。神は現實を飛び離れて存するものではありません。天國はほんとうに私たちのなかに在るのです。妄想のなかに生きないで、ひたすらに敬虔なる現實の步みを續くることが神へ近づく唯一の道であると私は思ひます。

宇宙論を說明するに當りてこれだけの感想を附記します。

（一九三二年一〇月）


Herrn Prof. K. Aichi
Albert Einstein März 1921.

アインスタイン印象記

アインスタインと云ふ名はいま普ねく世界に廣まつてゆきました。相對性原理とともに彼の名は恐らく不朽に傳はることでせう。私たちの文化の爲めにこの偉きな貢献をなした斯の人と共に現代に生き、親しく彼の人間性に接することのできる私たちは、そこに得難い機會をもつてゐることに、大きなよろこびを感じてもいゝわけであります。

アインスタインを知ることは、相對性原理のどんなものかを能く理解するものにとりて一層興味おほいことです。あの嚴粛な且つ壯美と云うてもよい程な哲理、人間のいろ〳〵な知識が組織だてられて成り立つすべての科學がみんな

安住するであらうと思はれる一般的な原理、さう云ふものがどんな頭腦から湧き出たかを想ふことは、この原理を體得するものにとりて意味深いことでさへあると思ひます。その原理を單に普遍的に與へられたものとしてではなく、ひとりの個性をもつた人間に所屬する仕事として見るときに、これらの考察はあらゆる複雜をもつて私たちの思索に資するものでありませう。それはもはや安價な興味ばかりではありますまい。人間の個性と、さうしてそのなかに隱るる普遍性との相關に對することがらや、諸屬性の發達とその調和といふやうなことがらに就て、もつと深く考ふべき處であると思ひます。

溫情のこもつたさうして云ひ知れぬ懷かしみをもつた人として私はアインスタインを印象してゐます。ふさ〳〵としてゐるその頭髮や、豐麗な瞳や、ふつく

らした顔だちなどが、みんな温和などこかに藝術的な彼の素質を偲ばせます。私はゆたかな潤ひをもつたやうに彼の聲にも耳を傾けました。ユダヤ系の生れであると云ひますけれども、さう云ふ人たちによく見るやうな陰險さの痕を私は彼にいさゝかでも見出すことは出來ませんでした。硬いてはばつた感じや、深い冷たさを彼のなかにもとめることは出來ないのです。彼はよく談話の間に巧みな諧謔や諷語をもまじへます。けれどそこには針のやうな鋭い刺はなくて、たゞ私たちを動搖めかす波狀の響きのみが傳へられるのです。小さなことに關はるかはりにゆつたりとした大局を徐ろにひとり辿つてゆくのが、彼の特質ではないかと私は思ひます。

斯う云ふ印象に基いて私は彼の科學的の論文を讀んでゆきますと、その到る

處にまざ〳〵と彼のおもかげを見ることが出來ます。彼の議論はその他の獨逸の科學者たちの書くやうにきち〳〵と引き緊まつたものではなくて、どこかにゆとりのあるふつくりした氣のするものです。抽象的な原理ばかりを並べる代りに、或る特種な具體的の例證を擧げてそれを一般的に押し擴めると云ふやりかたがよく見られます。そこには謂はゆる隙間があるかも知れません。併しそれだけにまた何となしにそれが藝術的に近づいてゐる感じがします。彼の相對性原理に關する最初の論文を私が讀んだのはそれが出てから三四年後でした。私は丁度大學を卒へたばかりの時でしたが、それを非常におもしろく感動して讀んだのでした。さうして自分の研究の題目をもそこに見出さうとしてゐました。その當時アインスタインの名は殆ど學界の人々にすら知られてゐませんでした。實際彼は其以前には熱力學に關する一二の論文を書いたきりだつたからで

す。さうしてチューリッヒの大學を出たばかりの若い學者であつたに過ぎないからです。けれども彼の論文はその頃まで混沌としてゐた電氣力學に確かりした基礎を與へました。それに基いた理論がぽつ〳〵と種々の人々によりて發展されてゆきました。多くは獨逸にゐる人々ばかりでしたが、私も遠い處には居りましたがそれに附隨して自分の科學上の仕事を始めてゐりました。私にとりてアインスタインは最も尊崇すべき先蹤であり、また未知の恩師でもあつたのです。それから二年程經つてから私は、獨逸のスタルク教授からその主宰せる放射學及電子學年報に相對性原理の發展に關する報文を書くやうに依囑されたことがありました。丁度歐洲留學に出かける間際でしたので匆卒にその稿をまとめて送りました。

歐洲に行つて私はアインスタインに親しく接する機會を得ることを自分の最も大きなよろこびの一つに期待して居りました。併し私には性來の羞耻やら獨逸語の不自由さやらがその機會をすぐには實現させやうとはしませんでした。

私は先づ半年づつを獨逸のミュンヘンとベルリンとに過ごしました。ミュンヘンではゾムマーフェルド教授のもとに居りましたが、そこを立つとき、アインスタイン教授への紹介狀を乞ひましたら、そんなものは必要はなからう、殊に彼のやうな人には云ふことでしたのでその儘に何も貰はずにしまひました。翌年の四月に私はチューリッヒに行つてとう〳〵アインスタインに會ふことが出來たのでした。

チューリッヒには州立の大學があつてそこにはやはり相對性原理の研究者と

して知られてゐたラウエ教授が居ました。其人とは私は以前日本にゐて論文を交換したり、ミュンヘンで能く知り合ひになつてゐたのでよけいに親しい感じがしました。其外に國立の高等工業學校があつて、日本で云へば工科大學でありますが、此方が前の大學より大規模で、其なかに純粹の物理や化學の教室があり、アインスタインはその教授として在任してゐたのです。私はその教室のなかで漸く自分の憧憬してゐた偉人に接することが出來たのでありました。

チューリッヒの都市は私にはいろ／＼な意味でなつかしい處です。市街は既に海拔四百米ばかりの高さにあるのですが、その東に七百米程の山が立つて居て、その山腹の高い處まで町が續いてゐます。大學や工業學校はその山を大分登つた邊にあるので、そこからは町全體を見おろすことが出來、その市街の南

方に數里の長さに續いてゐるチューリッヒ湖の蒼い水や、その向ふに遙かに雪を頂いたアルプス連山がずつと見亘せるので、何とも云へないいゝ眺望をもつてゐます。林檎の花の白くさいてゐる時分に、山腹をうねつてゐる天文臺街や物理街を歩んで赤煉瓦建の大きな建物の前に出るとき、私は恍惚として自分を忘れてそこに佇むでゐたことが幾度あつたでせう。

工業學校ははでな赤いいろの、併しがつしりとした大きな平たい屋根の建築でした。その正面の南向の二階にアインスタインの部屋があつたのです。光線のよくはいる明るいこの部屋のなかで彼はその深い思索を續けてゐたことでせう。大きな卓机のうへには雜然としてたくさんの書籍がいつも置かれてあつたやうです。私は言葉寡なく學術上の問題をたづねました。彼はそれに對す

るゆたかな考察を私のために親切に說いてくれました。そんな場合の靜かなもの言ひぶりを私はこの上なくうれしく思ひました。彼と向ひあつてゐるときに、私はその隔てのない心に引き入れられずにはゐられませんでした。彼はそのとき感じのうへからはどうしてもいかめしい大家でも教授でもなく、只私の親切な話し對手に過ぎないのでした。

工業學校の表には山のうへへ登つてゆく廣い並木道が斜についてゐました。そこから暫くの間は兩側に家もなく見晴しのいゝ公園道の樣な趣のある處でした。晝休みどきやその後でよくそこを行き歸りながら書物を手に開いて讀んでゐる教授の姿を私は見つけました。春のうら暖かな時候だつたので並木として兩側に立ち繁つてゐるカスタニドの廣い葉が鮮な色に光つてゐました。帽子も被ら

ずにむざうさに教室から出て來られることが多かつたやうです。或る時はひよつくり私とそこで行き會つていきなり話かけられたともありました。輻射波の量子說がだいぶ喧しかつた頃なので、やつぱり輻射は量子的な關係に支配されてゐるよとそんな最初の言葉で口が開かれるのでした。チューリッヒの空は美くしいぢやないかと春の光のうごいてゆく天空を見あげるとき教授の眼には遠いはるかな理想がこもつてゐるやうでした。私はあのくり〳〵とした平和な瞳子をわすれません。さうして私が別れて學校のいりくちの扉を入つてしまふまで、やはりそこの並木道を歩みながら讀書してゐる教授の後ろ姿が見かへされました。

獨逸の大學の教授などは一つの教室を持つとかなりな權力を振つてゐるのがあたりまへです。併し私はアインスタインのもとではさう云ふ感じがちつとも

しませんでした。その年齡の若かつたせいもきつとあるでせう。私たちから見ればあそこらの國の人は一體にふけて見えますので、自分などよりずつと年上に感じてゐましたけれど、まだその時は漸つと三十五六にしかならなかつたのです。けれど一體には威張りたがるやうなことのない彼の性質からでもあつたに違ひありますまい。謂はゆる大家ぶるやうなことなしに、平氣で人に接するといふのが彼の常であつたやうに思ひます。

四五人の人たちがいつも彼のもとで熱心に研究をしてゐました。理論物理學の指導といふことはかなり難かしいものです。問題の解決のすぐに見つかるやうなものは自分でやつてしまふことになりますし、さうでないものは、大層困難なものかまたはつまらないものに過ぎないのです。アインスタインは大概自分の考へてゐる問題に就て若い人たちと共同に仕事をしてゐるやうでした。輻

射の量子的構成などに就てその頃發表したものもありました。さうして彼れ自身は數學者のグロースマン氏と一緒になつて萬有引力の相對性理論に沒頭してゐたのでした。これが戰爭後になるまで續けられてとう〳〵今日の偉大な一般的相對性原理をつくりあげたのです。

彼のゐた理論物理學の敎室では每週水曜日の夜に談話會を開きました。敎室の人々が交互に或る問題について話し合ふのです。これはどこでもやることですが、私がチユーリッヒで一つ變つたおもしろいことと感じたのは、その會の終へた後で、みんな集つた人たちが山を降りてチユーリッヒ湖畔のカフエーで續いて會合を開くことでした。尤も會合といつてもそれは自由に只ゆきたい人だけがそこまで出かけるだけでしたが、めいめいに好きな飮料を前にして庭園の

なかの白い大理石卓を圍みながら、いま迄教室の黑板で議論されたことをもう一度繰返したり、またはその外のいろ〳〵な雜談に時を費すのでした。議論に熱したその人たちの間に親しい空氣を漲らせてくると、美しい灯の光りをも漂はせる程に思ひました。斯う云ふ催しがアインスタイン教授の發案によりてこゝに始まつたものかどうか私は詳にしません。けれどこの軟らかみのこもつた會合が、難かしい抽象的な物理學理論と相待つてこれに純粹な人間味を附與してゐるといふことに就て、私は興味を感ぜずにはゐなかつたのです。カフエーの庭に於けるたゞ一杯の飲料、そこに或るふさはしさがあるのだと私は思ひました。アインスタイン教授の人格のなかに私ははつきりとこのやうな調和を見出すことが出來るやうに思つたのです。

カフエーに遲くまで話し合つた人たちは相携へてまた山を登つてまゐります。そこに集まる大概の人は山腹の靜かな町々にその住居をもつてゐたからです。湖畔から弧形に連つてゐる並木の深い通り、私達はその樹蔭を洩れる瓦斯燈の影をふみながらあちこちへ塊まつて歩いてゆくのでした。おほかたは夜深くなつてしんとしたなかに或る人達の話聲が際立つてたかくきこえたりしました。アインスタイン敎授を圍んだ一團はいつも半ばよりも後の方にゐたと私は思ひました。路が岐れるたびにだん〲とその塊りの數が減ります。さうして私たち數人は殆ど最後に、尙ほひとりで高い街の住居へ歸つてゆかれる敎授を見おくりながら、橫へ曲るのが常でした。暗い山腹の町から遙に灯の映つてゐる湖水を見ながらめい〲の家へ歸へるのにこの上ない滿足をもおぼえました。

瑞西にはいろ〳〵の國の人々が雜多に集つてゐます。その意味で瑞西は自由の國であります。社會主義のなかまなども澤山ゐますし、その當時露西亞から亡命したものなど隨分來てゐました、それだけに私たちでさへ外國人といふ差別なしに待遇してくれるので、下宿にゐても敎室へいつてもたいへん氣易い處がありました。アインスタインも獨逸生れの人ですが、學生時代からずつと瑞西にゐたやうですし、そこの大學を出てからも中頃墺國ボヘミヤのプラーグ大學の敎授に二年ばかり行つてゐた外は、ずつと瑞西にゐてチューリッヒの大學や工業學校やベルンの特許局の技師などになつて過ごして來たのです。さうして自分の國籍も瑞西へ移してしまつてゐました。彼は前にも述べましたやうにユダヤ系の血筋をもつてゐるので、社會思想に於ても自由を憧れてゐるのであ

りませう。丁度私が瑞西を去つた後でした。獨逸のベルリンに立てられたカイゼル・ウイルヘルム研究所に彼を招聘し、化學者として有名なもとのファント・ホッフ教授の後任者としてベルリン大學の名譽教授にしやうと云ふ議が起つたとき、彼が瑞西へ國籍を移したことは徴兵遁れのためであつて甚だ不都合だといふ非難があつて、大分問題になつたといふやうな噂さを聞きました。私はその眞僞を知りませんが、ともかく彼の仕事とそれに對する名聲とは一たび之等の非難を壓して彼をベルリンに導いて獨逸學界の中心におくのに充分であつたのです。彼がベルリンに行つて翌年にあの世界戰爭が始まりました。さうして獨逸の大學教授が聯合して對外宣告文を發表したときに、彼はそのなかに署名しなかつた一人でした。それから獨逸帝國が崩壞して共和政に變つたときには之に熱心に賛成してゐたといふことです。戰後になつて偶〻獨逸のなかにユダ

ヤ族排斥の聲が烈しく高められて來たとき、彼もその衝になつてゐるといふ噂も聞きました。和蘭のライデン大學の講義に行つてゐたのですが、彼はそれを口實にして一時をそちらへ避けてゐるのだといふことさへ耳にしました。ともかくも彼はこれらの事情から察して自由主義を奉ずるものであることが判るでせう。すべてに囚はれない自由の主張者であつて、始めてあの時間や空間に對する革新的の思想を發展させることが出來たのは、必ずしも考へ難いことではないと思ひます。

彼は相對性原理の説明に附隨して斯んなことを云ふたことがあります。「自分はいまこの原理の發見者として獨逸では獨逸生れの人間と云はれ英國では瑞西の猶太人と云はれてゐるけれど、若し風向が變つて自分が嫌はれ者になつたならそれ

が丁度逆になつてしまふだらう」と。それが幾ばくもないのに彼がユダヤ人として獨逸で排斥されるやうになつたとしたら、彼は自分の引例の余りに痛切なのに苦笑しなければならなかつたでせう。さうしてそんな時やはり彼が長く生活してゐた自由の國である瑞西を心なつかしく思つたことであらうとも想像せられます。

アインスタインが講義に行つてゐると云ひました和蘭のライデンには、もと有名なローレンツ敎授がゐたのでしたが、もう八九年前に退隱して、その後任にはエーレンフェスト敎授が理論物理學を擔當してゐます。この人は丁度私がチューリッヒに居つた折にやはりそこへ來られたことがありました。氏はもと哲學を修めた人で物理學の理論の根據に就ていつも鋭い批判を齎らすのでした。

チューリッヒへは露西亞人で數學を修めたその妻君と一緒に來てゐて、例の談話會の席上で量子論などに對して盛に論じ合ひました。談論風發と云つた趣のある人で、アインスタイン教授の醇々と說くのに相對して著しい對照をつくつてゐました。その時分もう一人相對性萬有引力論に就て一方の論者であつた芬蘭のノルドストレーム氏も來合せてゐまして中々賑やかでありました。この人は若い素朴なちよつと超俗的な仙人めいた人間でした。多少言葉の不自由さもあつたためでせうか、始終沈默がちでした。私に向つて萬有引力論者がみんなお互に引かれて集まつて來ましたねなどと笑つて話したこともありました。その後戰時中から續いてこの人も和蘭のライデンに行つて一般相對論に關する論文をいろ〳〵書いてゐますが、そんなことから私にはチューリッヒと結び付いてライデンの大學が頭によく浮んで來ます。さうしてそれらの人たちがいつか又

處を換へて私たちとも出會ふことがあつたらなどと夢みないでもありません。

アインスタインの學説は恐らくは科學の歴史が始まつて以來比類のない程、ほんとうに世を驚かすに足りるものでした。たとへ時運がだん／＼に之を生むうに準備されてゆきつつあつたとは云へ、彼が居なかつたならさう速かに之程な根本的な變革が持ち來されたかどうかは疑はしいと思ひます。おほくの學者が從來の大厦の破れを繕ろふために、又はそれを建て增すために、同じやうな煉瓦や材木をもつて來てもとの礎のうへに据ゑ置かうとして苦しむでゐた間に、ひとり彼のみがまるで異つた建築材料を考案して新しい礎の上にそれを建設しなほさうと企てたのです。こんな大膽のとを彼以外にだれが思ひ切つてなし得たでありませう。運動によつて物體が短縮するといふやうな性質を假定して、そ

れで人々が姑息に塗りごまかしてゐたうちにアインスタインはそれをみんなうち壞はしてしまつたのです。さうしてこれまで思ひも及ばなかつた時間や空間の新らしい概念をつくり上げて、それでいかにも自然に說明することが出來たのでした。その後の萬有引力論に至りては更に天來の妙想を私たちのまへに展げて見せてくれたと謂つてもよいでせう。みんな力といふものを實在的なものとして、どうかして實驗上の性質と一致する何ものかを探り出さうと苦しんでゐる間に、彼はひとりそれをとび離れて空間幾何學の微妙な關係のなかに一切の宇宙を認識しやうとしたのでした。私たちは只眼を見張つて暫らくはその落ち着く處を見定めるより外はありませんでした。私は彼に於て眞の超凡的な天才を畏敬せずにはゐられません。

私の眼にうつる限りでは彼はそれ程數學に達者であるとは思はれません。さうして恐らく自分でもそのことを不如意に感じてゐるだらうと想像されます。難かしい數學的の障礙にゆき當ると彼はきつと自分の親しい數學者の友達のところへ行つて相談すると云ふやうなことをしてゐたらしく思はれます。グロースマンと一緒になつて萬有引力論を創めることが出來たことなどはその著しい場合でありませう。けれど彼には數學の複雜な論理を透察するに足るだけの明が具はつてゐるのです。さうしてその論理の大綱を豫察してゆくことが出來るのです。之が自然法則の體系を見いだして理論物理學の基礎を大成してゆくのに必要なことであつたのです。彼の偉大さはこゝに在ると謂つてもよいでせう。

彼の容貌や態度のなかには、對手を衝き刺すやうな銳敏さは少しも眼立つて

感ぜられません。寧ろ彼に會つてゐると、どこかにゆつたりとした大きな、さうしてものを取り迯がさないやうな判きりした性格にうたれるやうに思はれます。これがみんな彼の仕事のうへにもあらはれてゐるのだと私は思ひました。

東洋の文學や思想のことを私はいろ〳〵聞かれたこともありました。私たちのちがつた顏いろなどを見てさう云ふものにも彼は興味を感じたのであつたでせう。それに對するもつと突き入つた意見を聽く折があつたら、きつとためになるだらうとも私は思つてゐます。

アインスタインはいま流行りもの丶やうに人々に傳へられてゐます。相對性原理に關する通俗書は世界の國々で踵をついで出版せられてゐます。なかにも

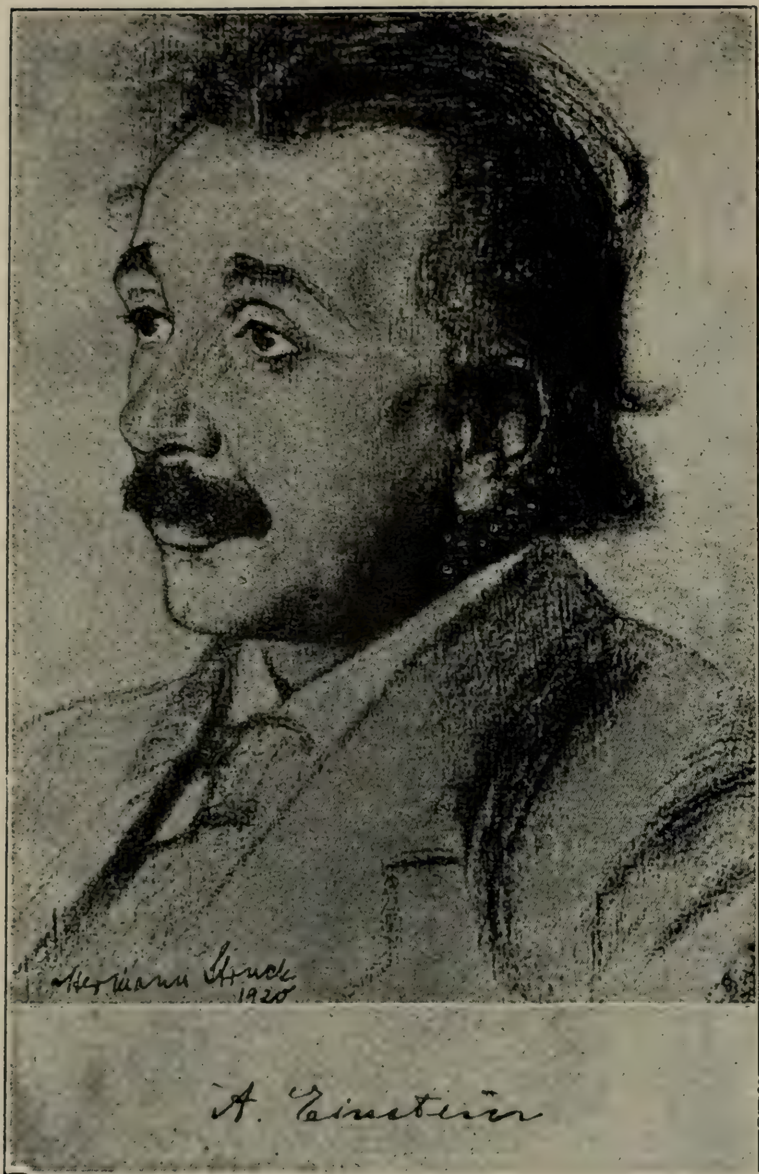
本國の獨逸では一層甚しいので、昨年から今年にかけて出たのが私の數へ得たものだけでも、三十餘種にのぼつてゐます。そのなかにはずゐぶん過激な反駁論さへあるやうでして、ともかく讀書界を騷がせてゐることは大變なものです。さう云ふ人たちの間にアインスタインがめい〳〵どんな風に知られてゆくかは、やはり注視してみたなら、おもしろいことでありませう。

私はアインスタインのことを書かうとして餘りに焦點に觸れる事が少なかつたと云ふ感じをもたずにはゐられません。私が實際さう云ふ隔たつた處に立つて彼を印象したに過ぎないからです。さうしてそれはもう八年も前の出來ごとであり、その時分にはこんなことを書かうと云ふ氣もしないで、彼の話なども聞き流してゐたことでした。私はそれらのために却つて彼以外の周圍や自分のこ

となど無駄な話をこゝにおほく述べすぎたかも知れません。それだけに餘りに朦朧とした印象であることをお詫びしないではゐられないのです。併しさうかと云つてこれ以上に强いて焦點をすぼめることは恐ろしいことです。誰が自分たちのレンズの歪んだ影像をつくらないことを保證し得るでせう。歪んだ空間、それはそれぞれの相對的觀測者にとりて、さながら見た儘の形なのです。各の觀測者は自分の見た歪みを他人に强いてはなりません。只その歪んだ世界のなかから、不變恒存の實在を捉み出さなければなりません。之が正しい批判者の仕事なのです。ひとりのアインスタインを獨逸人であると云ひ、瑞西の猶太人であると云つて、徒らに言ひ爭つてゐてはなりません。どんな見方をされやうとも、不變的な實在としてアインスタインはそこに居ます。私たちは有りの儘の個性的印象のなかから何を採りだしていゝのでせうか。恐らくは永久に

殘された意味深い問題が自然を對象とするが如くに人間を對象として成立つてゐます。さうして相對性と云ふことがやはりこゝにもその儘移されていゝのであらうと私は思ひます。

（一九二一年九月）


Hermann Struck
1920
A. Einstein

アインスタインの著作に就て

アインスタインはその名をアルベルト(Albert)と云ひまして、一八七九年の三月に南獨逸の小さな都市であるウルムに生れました。その家は余り裕かな方ではなかつたらしいのです。小さい頃に家族と一緒にミユンヘンに移つてそこで小學校などへも入つたと云ふことです。モスコフスキーと云ふ人が彼の人となりを書いたものがありますが、子どもの時分から口重のたちで、友達仲間から離れて獨りぼつちにされ勝ちであつたりしたと云ふ話です。前にも書きましたが、猶太人系の血すぢの家に生れたのでそれに伴ふ迫害も隨分經驗したことだらうと思はれます。それらの事情や數理に親しみ易い彼の性質が、自然に學究的な彼の一生を育てあげたのに違ひありません。

中等學校にゐる時分に彼の家族はまた伊太利のミラノへ移住したさうです。彼は十六七歳のころに獨りで瑞西のチューリッヒへ行つてそこのポリテクニクムに入學しました。ポリテクニクムと云ふのはまづ我國の工科大學に相當する高等工業學校ですが、工學と共に純粹な理學の科目がその中にあるのです。チューリッヒでは之が國立になつてゐるだけに、同じくそこに在る州立の大學よりも設備などが大規模でいゝ教授もゐるのです。彼はこゝで十七歳から二十一歳まで勉强して卒業しました。その間に物理學を專攻しやうとする心が彼にはつきりと決まつてゐたのでせう。學校を出て二年ばかりは同じ瑞西のなかでシャッフハウゼンやベルンで私教師をつとめながら熱心に研究を始めてゐたらしいのです。ポリテクニクムの卒業論文に續いて彼はこれから引續きたくさんの大切な學術論文を書いてゐます。一九〇二年から一九〇九年まではベルンで特許

局の技師をつとめてゐましたが、その後、チューリッヒの大學の助教授になり、次で一九一一年には墺國ボヘミヤのプラーグ大學の正教授に招かれ、翌年再びチューリッヒに歸りてポリテクニクムの教授となりました。そこで二年ばかりゐましたが、彼の名聲の漸く普ねくなつたために、一九一四年の始に獨逸のベルリン大學で彼を招聘し、化學者として有名なファン・ト・ホッフの遺した講座の後繼者に推し、ベルリン郊外のカイゼル・ウイルヘルム研究所の教室內で研究に專ならしめたのです。それから續いて彼は今もそこに在つて獨逸學界に重きをなしてゐます。

彼の學術上の仕事は實に集錄したたくさんの論文で發表されてゐます。それらがどんなものであるかを知ることは、彼の眞面目を見るのに必要なことに相違ありますまい。私は極めて大體に亘りてここにその內容を述べて見ませう。

彼の論文はみんな理論物理學上の重要な問題を取り扱つてゐるのですが、それを便宜上分けてみると大凡三つの種類にまとめられるやうに思ひます。

一、分子論に關するもの

二、相對論に關するもの

三、量子論に關するもの

先づこの三つに歸着するでせう。之によりて既に彼の興味がどう動いてゐるかを察知することが出來ます。

彼の一九〇一年に發表した最初の論文(1)は毛管現象に關するものでありましたが、之に引き續いて熱力學の問題に移り、分子論的基礎を論じました(2,3,4,5)。次で一九〇五年に出した「靜止せる流體内に支へられてゐる粒子にあらはれる、熱の分子運動論によりて要求せられる運動に就て」と云ふ論文(7)で謂

はゆるブラウン運動の理論を完全に與へたのは、學界に於ける注意を集めました。この理論の結果は之と獨立に公けにされたスモルコフスキーの論文と共に、多くの光明をこの現象に與へたものでした。その連續は翌年にも出されてゐますが(11)、共に分子論の歴史に特筆されるべきものであります。ほんとうに分子の實在と云ふことが動かし得ない確實さをもつて認められたのは、これらの理論と相俟つてそれに相當する實驗的事實が、佛國のペランや瑞典のスヴェドベルヒなどによりて數量的に闡明せられるやうになつたからです。ブラウン運動が一八二七年ひとりの植物學者ブラウン[三]によりて發見せられてから、凡そ八十年も經つてそのほんとうの意味が判り、さうして分子論に對するかやうな重要な役目をもつやうになつたことも、彼に負ふ處が少なからぬ次第であると思ひます。尚ほ一九一〇年になつて書いた液體の蛋白光に關する論文(36)をブ

ラウン運動の理論と同じ意味で分子論に貢献するものでした。

（一）以下西洋數字は次に掲げる「論文題目」に附した番號をあらはします。

（二）ブラウンは英國の人です。或る草花の花粉を水に浮游させて顯微鏡で覗いてゐたときに、小さな粒が盛んに動いていつまでも止らないのを見出し、更にいろ〳〵な物質の微粒について同様な實驗を繰返しましたが何れもかやうな運動のあるのを見たと云ふことです。

彼は一九〇五年にこのブラウン運動の理論を書くと共に、もう一つの極めて重要な論文を發表いたしました。「運動物體の電氣力學に就て」と題するもので（８）こゝで彼の相對性原理の最初の土臺が据ゑられたのでした。この運動物體の電氣力學は十九世紀の後半に於て喧ましい問題になつてゐたので、獨逸のヘルツや英國のヘビーサイドなどによりて論ぜられましたが、どうも實驗に合はない點があらはれて來ましたので、新たに和蘭のローレンツが電子論から入つてその基本法則をつくり上げたのでした。それでもまだマイケルソン及びモー

レーの實驗によりて一の矛盾を起してしまつたので、前に説明したやうなローレンツ收縮の假定を取り入れて、漸くに彌縫することが出來たやうに見えました。ローレンツはその理論を組織立て、一九〇四年の論文に發表してゐます。[三]斯樣な困難な問題をアインスタインはその若い頭腦のなかで、全く新らしく解釋しなほしたのです。彼はまだその時二十六歲にしかならなかつたのです。光速度不變の假定や、時間及び空間の長さの判斷に關する考察や、ローレンツ轉換式[四]の演繹、及び眞空中で運動する座標系に對する電磁現象の法則はみんな完全にこの一九〇五年の論文のなかにあります。[五]

（三）このローレンツの論文は相對性原理の前驅者として最も大切なものです。「光速度より小さな任意の速度で動く體系に於ける電磁現象」と題して、和蘭のアムステルダム・アカデミーの報告中に載つてゐます。

（四）ローレンツ轉換式と云ふのは、相互に運動せる二つの座標系に於ける時間空間座標の關係を與へ

る式で、時間及び空間の相對性を完全にあらはしたものです。

（五）この理論をもう一度秩序立つて書きなほしたものが一九〇七年に「放射學及電子學年報」に載つてゐます(21)。

彼は續いてこの相對性原理からの一つの大切な結果として、エネルギーの惰性に就てたび／＼論じました(9,13,20)。物體の質量がその含有するエネルギーに關することや、また質量及びエネルギーが速度と共にどう變るかと云ふことがそこに明かにせられてゐます。

一九〇七年になつて有名なミンコフスキーの論文（六）が出ました。それはアインスタインの導いた相對性原理の式に、四次元幾何學に於ける美事な關係を當て嵌めて、數學的な美しい衣裝を着せたものでした。アインスタインが曩に眞空の電磁現象に就て立てた式をミンコフスキーは更に一般物質内で成り立つ場合に擴張したのです。併しミンコフスキーの論文には極めて純粹な數學的な云ひあ

らはし方が用ゐてあるので、多くの人々は之を見究めるのに非常な困難を感じますので、アインスタインはラウブと共に之を解り易い形になほしました。一九〇八年に二つの論文がその爲めに書かれてゐます(24,25)。

(六)これは「運動物體に於ける電磁現象に對する基礎方程式」と題して、獨逸のゲッチンゲン・アカデミーの報告に出てゐます。

一九〇五年にアインスタインの立てた原理は、今日では特殊相對性原理と云つてゐるもので、光速度の不變の場合、卽ち万有引力の場の存在しない場合に限られてゐたのです。その後この原理からのいろ〳〵な結果が他の人々によりて論究せられてゐた間に、アインスタインは始終万有引力の問題を頭において考へてゐたのでした。一九〇七年に書いた相對性原理の說明(22)の終りの章で、彼は既に之に關する多少の考察を述べてゐます。そこでつまり彼は一定の

相對的速度の場合から、一定の相對的加速度の場合に進まうとしたのでした。加速度をもつた觀測者の見る力學現象は、全く一定の重力の場にある場合と等しいと云ふことを假定し、之を「相等假說」(Äquivalenzhypotheso) と名づけて、相對性原理を加速度運動にまで擴張しやうと企てたのでした。併し加速度をもつた觀測者に對しては光の速度が亦變つて見えなければならないために、彼は光速度不變の假定を捨てゝ、却つて光速度と万有引力ポテンシャルとの關係を決定しなければなりませんでした。この考は遂に彼をして一九一一年に於て光が重力の場に於て屈曲すると云ふ事實を豫言せしめたのです(46)。之はその當時には余り注目を惹かなかつたのでしたが、彼の理論がまだ完成に遠かつたからでもあり、從つて種々の異論もそれに次いで起らうとしてゐたからでもあります。けれども彼はこの問題を一心に解決しやうと努めてゐました。光速度と万

有引力との關係は翌年にも論じて居り(50,51)、「光速度の變化は彼の一九〇五年の理論の根柢を覆すものである」と云ふアブラハムの批難に對して之を辯ずるに熱心でありました(54,55)。

實際光速度不變の假定を出發點としてゐた一九〇五年の相對性原理から光速度變化の一般の場合に移るためには、尠からぬ苦心を要したに違ひありません。之を正しい論理的根據のうへに据ゑつけるためには、それまでの數學的論理よりも、もつと廣い立場を見出す必要があつたのです。彼は一九一二年にチューリッヒに歸つて來たときに、その同窓の親友であつてそこの大學にゐた數學者のグロースマンにこの相談を持つて行つたのでした。さうして一般的なリーマン幾何學が彼の目的に役立つことを知つたのです。彼は絕對微分學の極めて複雜な關係式のなかからグロースマンの助力によりて自分の望む形式のもの

を取り出さうとしました。さうしてそれに依りて始めて一般相對性原理なるものの基礎を、確かりとした數學的論理のなかに見出すことが出來たのでした。一九一三年に彼は之をグロースマンとの共著として世に出しました(I,66)。人々はそこに立てられた運動の方程式や、重力の式の余りに複雑なのに驚き且つ眉を顰めたことでしたらう。自然の法則はその本質に於てそれ程複雑なものではないに違ひないと、さう思ひ決めてゐたからでした。併しながらアインスタインはちつとも屈せずに自分の信ずる道を歩みつゞけました。この美くしい數學の組織のなかに自然のほんとうの姿が見出されるに相違ないと思つて、その重力論の基礎をたび〳〵繰返して力説しました(59,61,62,63,65,68)。これらの間に漸く彼の理論が完たき果實をつくる時期が熟しつゝあつたのでした。

丁度これが一九一四年になつてからでした。その年の春、アインスタインが

瑞西からベルリンへ移つて來たばかりでしたのに、夏になつて圖らずもあの大戰爭が始まつたのです。獨逸では國を擧げてこの戰爭に熱中しなければならない狀態に迫られ、多くの學者はその研究室を出て戰線へと趣きました。たゞアインスタインは猶太人であつたのです。さうして國籍を瑞西においてありました。恐らく之等の理由のために彼は戰爭を余所にして冷やかに敎室に止まることが出來たのでしたらう。彼は銃を荷なふ代りに、人間の一つの大きな仕事に專らに身を委ねてゐました。あの獨逸の必死ななかだけにいろ／＼な周圍の事情がどれ程彼の專心の硏究を妨げたかは想察するに余りがあるでせう。けれども彼はその不自由のなかに獨りで進んでとう／＼彼岸に辿りつく光明を得たのです。一九一五年になつて彼が獨逸物理學會の會報に「一般相對性原理並に之が天文學に於ける應用」と題する論文(74)を出したことは、たとへ直ぐには當時

の騷がしい、そして困苦に浸つてゐた獨逸及び之を圍む諸國に幾ばくの響をも傳へなかつたとは云へ、それは後に大きな渦動となつて長く學界並に一般社會へ影響を及ぼすべき最初の焦點となつたのでした。

一九一三年にグロースマンと一緒に書いた論文には、まだ万有引力の場の方程式をどう決定していゝかが瞭きりと示されてゐませんでした。只そこにはすべての式にリーマン幾何學に於ける共變性を保たせなければならないとが認められると共に、この幾何學に於ける唯一の不變な量として知られてゐる空間曲率がどう云ふ樣にしてか万有引力の法則に入るべき筈であらうと云ふ推察が下されてゐたに過ぎなかつたのです。一九一五年の論文で始めてアインスタインはこの曲率に依りて万有引力の場の式を決定する事が出來たのです(78)。此お蔭で彼はその式を太陽の周圍の空間に應用し、そこに於ける惑星の運動を論じ

て、その楕圓軌道が徐々に惑星運動と同じ向きに廻轉移動するとを導くとができました。久しい間疑問とせられてゐた水星の近日點(七)の移動が之によりて始めて理論的に明らかにせられ、しかもアインスタインの計算が精密に觀測値(八)と一致すると云ふことはまことに著しいことであつたのです(77)。アインスタインの理論(九)は茲に最初の觀測的事實に依る直接の證明を得て、その基礎を確實にすることが出來たのでした。

(七)近日點と云ふのは太陽を焦點とする楕圓軌道のうちで最も太陽に近い點です。

(八)百年毎に角度で43秒づつ移動することが米國のニウカムの計算で知られてゐたのです。

(九)アインスタインはこの理論を更に秩序立てゝ「一般相對性原理の基礎」と題する論文で説明してゐます(II, 79)。

尚ほ戰爭中引續いて彼はこの自分の理論を説明し補足することを忘れませんでした。さうしてたくさんの論文がそのために書かれてゐます(79,80,87,88,92,

95,96,98,104,105)。彼はまたその理論をニウトン力學で說明の出來ない月の規則的な經度變化に於て試めさうともいたしました(109)。又之れを擴張して理想的な宇宙論に到達しました(91,97)。その外電磁現象の問題（99）や、物質構造の問題（108,113）へも進んで論じてゐます。之等に關しては尙ほ議論が終結に導かれるまでに幾多の曲折もあることでせうが、彼の建設した一般相對性原理がどんなに深く且つ廣く物理學上の諸般の問題に關與すべきかがそこに充分に示されてゐます。[一〇]

（一〇）前文にもありますが宇宙論に對する和蘭のド・ジッターの論、電磁現象に關する瑞西のワイルの論は甚だ大切なものであります。

以上相對論に關するアインスタインの論文の主要なものを記しましたが、謂ふまでもなく今日までの彼の仕事の最も大きなものは之等にあるので、そ

の論文の數もかなり多くなつてゐます。

併しアインスタインの仕事の記憶せらるべきものは、まだ之に盡きてはゐないことを私たちは知らなければなりません。それは彼の量子論に對する貢献であります。彼がブラウン運動の理論や特殊相對性原理の最初の論文を書いた一九〇五年に、彼は既にこの問題へも立ち入つたのでした。彼は光が發したり又は他のエネルギーの形に變る場合にみんな或る量子的エネルギーの倍數をもつてすることを論じ(一一)眞空中に於ける光が、量子的組成をもつてゐることを假定しました(6)。この考は大層簡單に光の種々の作用(燐光、化學作用、光電氣効果等)及びエッキス線やその他の放射線に於ける特種の關係を説明する(一三)ことが出來ましたが、光が波動現象として解釋せられる事實とどんな風に相容れることが出來るかに就ては疑問が殘つてゐました。けれどアインスタインは波動的性

質と共に量子的組成の存在しなければならないことを信じてたび〱之を論じました(12,16,31,32,33,34,35,64,71)。

（一一）量子と云ふ假說は一九〇一年獨逸のプランクが輻射の理論に始めて導いたものです。

（一二）獨逸のスタルクがやはりこれと同時にアインスタインと同樣な考で之等の說明を試みました。

之と關聯してアインスタインが始めて物質の比熱の問題にプランクの輻射の法則を應用したことは、量子論の領域を著しく擴める先驅をなしたものでした(15)。彼は物質のなかに輻射熱を含むことを考慮して、比熱も輻射の法則に從はなくてはならないと思ひついたのです。彼が一九〇七年にこの論を發表してからその頃盛に發達した低溫度の實驗は續々とこの理論の近似的に事實と一致することを示しました。彼は尙ほその後固體の比熱と彈性との關係や、分子運動を論じたり(41,45)、光化學の法則を論じたり(49,58,84)、又氣體の比熱の場

合に之を應用して謂はゆる零點エネルギー(一三)の存在を試めしたり(56)いたしました。

（一三）絶對溫度の零度に於て物質の有するエネルギーを零點エネルギーと名づけます。

量子論はその後戰爭中に獨逸の諸學者の手によりて眼覺ましい發展を遂げました。それは相對論と共に近時の理論物理學に於ける二大驚異となつたと謂つてもよいのです。その間アインスタインは寧ろ相對論の攻究に專らであつたために、この量子論の近時の發展には多くを與かつて居りませんけれども、尙ほこの量子論の新らしい見地に於て、輻射の問題を取り扱ふために二三の論文を書いてゐます(85,90,93)。併し量子論はやはり未だまだたくさんの闡明すべき內容を含んでゐます。今日では作用量に關して量子なるものの存在することは最早疑もないことでありますけれども、この量子の意味をもつと瞭きりさせる

ことを私たちは要求してゐるのです。特にこの量子に關する諸原理を相對性原理と結びつけることは、どうしても必然の問題として近い將來にあらはれて來なければならないのです。アインスタインも斯う云ふ問題の重要さに就て考へてゐるに違ひないので、彼の深い思慮がこの困難な關所を通り拔けるどんな方法を私たちのまへに持ち來すかは、なほ將來に期待してもいゝことかも知れません。

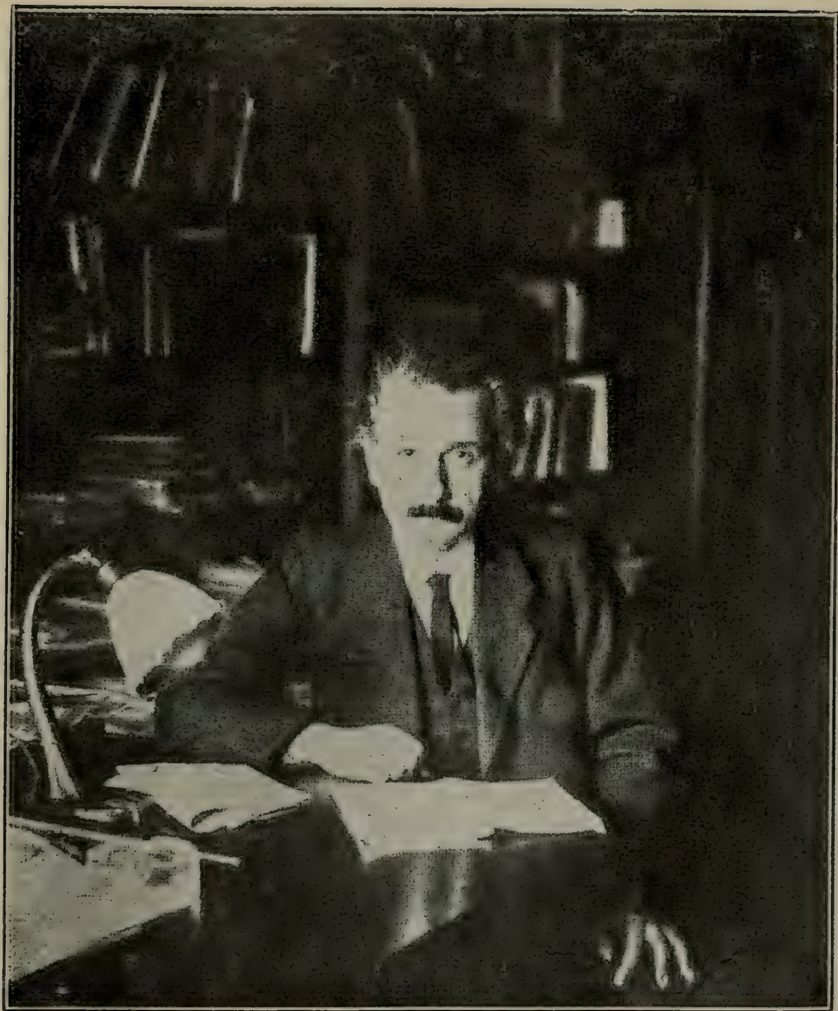
アインスタインの仕事が最初に私は三つの問題に區分せられ得ることを述べ、それらに就て大體を說明してみました。彼の發表した論文のうちで、尙ほ多少は之の分類に屬させ得ないものもあります。そのうちで私がもう一言附さなければならないと思ふものは、一九一五年和蘭のド・ハースと共に發表してゐる「アムペール分子電流の實驗的證明」(72)と、もう一つの之に關聯せる論文(81)

であります。之は棒鐵を强い電磁石の間につるしておいて、電磁石の電流の方向を交互に反對に變へることにより棒が廻轉振動を起すかどうかを實驗したもので、之によりて物體内に廻轉せる電子の存在するのを直接に證明することが出來る點で、電子論に對し極めて重要なものであります。(一四)

(一四)この實驗はその後二三の人々によりて繰返されてゐますが、その數量的の結果はアインスタインの與へた簡單な理論とは一致しません。多分鐵の磁氣的性質の複雜さが之に影響してゐるのであらうと思はれます。

アインスタインの仕事がどれ程物理學理論の進步に貢献したかは、これだけの粗雜な說明でも大概はお判りになるでせう。私たちはこゝに自分等の文化のために彼の努力に對し深大な感謝を捧げなければならないと思ひます。

(一九二一年一〇月)



アインスタイン著作論文題目

アインスタインの著作の一般を私は前文に紹介しましたが、尚ほ之を完全に知らうとする人々のために、今日までに公にせられた著書、並びに學術雜誌へ發表せられた論文の題目をこゝに集錄いたします。私の現在の事情がその便宜を缺いてゐるために、之が集輯を遠藤美壽氏に御願ひいたしました。茲に記して仝氏の勞を厚く感謝いたします。

（一九二二年一〇月）

一、著書

I. Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation. I. Physikalischer Teil von Albert Einstein; II. Mathema-

tischer Teil von Marcel Grossmann. (B.G. Teubner).

これはグロースマンと共に著はした論文で、今日の一般相對性原理に入る最初の試みであつたのです。一九一三年の刊行で、後に雜誌へも出しました(論文集錄67)。

II. Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. (Joh. Ambr. Barth).

この書は一般相對性原理を說述したもので、もと Annalen der Physik に出た論文(次の題目集錄 79 がこれです。)を單獨に刊行したものです。一九一六年に初版を出して既に數版を重ねてゐます。

III. H. A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski: Das Relativitätsprinzip. (B. G. Teubner).

この書は Fortschritte der mathematischen Wissenschaften と云ふ叢書に屬するもの

で、ローレンツ、アインスタイン及びミンコフスキーの相對性原理に關する論文のうち、最も主要と思はれるものを系統的に選んで集載したものです。その意味で最も大切なものだと思ひます。ゾムマーフェルドの註釋、ブルーメンタールの緒言が付いてゐます。一九一三年に初版を出したときは特殊相對性に關するもの許りでしたが、その後一般相對性原理があらはれたので、その主要な論文をも增補して數版を重ねてゐます。

IV. Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, gemeinverständlich. (Vieweg u. Sohn).

これは Sammlung Vieweg といふ叢書のなかの一冊で稍通俗的に書かれたものです。一九一六年に初版を出し、既に十版以上を重ね、R. W. Lawson 氏の英譯、Mlle J. Rouvière 氏の佛譯もあり、又桑木彧雄、池田芳郎兩氏の共同邦語譯も出てゐます。一般の人々にとりて手ごろな讀ものでせう。

V. Äther und Relativitäts-Theorie. (Julius Springer).

この書はアインスタインが一九二〇年五月五日和蘭のライデン大學に於てなした講演を出版したものです。簡略ななかに著者の言を見ることが出來ます。

VI. Zum gegenwärtigen Stande des Problems der spezifischen Wärme.

これは Die Theorie der Strahlung und der Quanten. Verhandlungen auf einer von E. Solvay einberufenen Zusammenkunft (30. Oktober bis 3. November 1911), mit einem Anhange über die Entwickelung der Quantentheorie vom Herbst 1911 bis zum Sommer 1913. (Wilhelm Knapp) のなかに載つてゐる1つの論文です。一九一四年の刊行です。

VII. Theoretische Atomistik.

これは Die Kultur der Gegenwart 3 (3), 1 の物理學の部にあります。一九一四年の刊行です。

VIII. Geometrie und Erfahrung. (Julius Springer.)

この書は一九二一年一月二十七日ベルリンのアカデミーに於てなした紀念講演を出版したものです。(論文集錄 116を訂正增補したものです。)

二、論文

註(一)以下掲載の雜誌名に次のやうな畧符を用ゐてありますから之を對照して說明しておきます。

雜誌名	畧符
Annalen der Phsiyk. (Vierte Folge).	Ann. d. Phys.
Archives des sciences physiques et naturelles.	Arch. d. Sc.
Astronomische Nachrichten.	Astron. Nachr.
Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik.	Jahrb. d. Radioakt.

Journal de physique.	Jonrn. d. Phys.
Naturwissenschaften.	Naturwiss.
Physikalische Zeitschrift.	Phys. Zeitschr.
Sitzungsberichte der Königlichen preusischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.	Berlin. Ber.
Verhandlungen der Deutschen physikalischen Gesellschaft.	Verh. D. Ges.
Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich.	Jahresb. Zürich.
Zeitschrift für Elektrochemie.	ZS. f. Elektrochem.
Zeitschrift für Mathematik und Physik.	ZS. f. Math. u. Phys.

(二) アインスタインと他の人との共著の論文はその題目の終りに括弧して著者名を記しておきます。

(三) *を附したのは學會での講演の題目だけがその雜誌に載つてゐるものです。

	論文題目	掲載雜誌名	卷數及發行年	頁數
1	Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen.	Ann. d. Phys.	4(1901)	513—523
2	Über die thermodynamische Theorie der Potentialdifferenz zwischen Metallen und vollständig dissozierten Lösungen ihrer Salze und über eine elektrische Methode zur Erforschung der Molekularkräfte.	Ann. d. Phys.	8(1902)	798—814
3	Kinetische Theorie des Wärmegleichgewichtes und des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik.	Ann. d. Phys.	9(1902)	417—433
4	Eine Theorie der Grundlagen der Thermodynamik.	Ann. d. Phys.	11(1903)	170—187
5	Zur allgemeinen molekularen Theorie der Wärme.	Ann. d. Phys.	14(1904)	354—362
6	Über einen die Erzeugung und Verwandlung			

	des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.	Ann. d. Phys.	17(1905)	132—148
7	Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen.	Ann. d. Phys.	17(1905)	549—560
8	Zur Elektrodynamik bewegter Körper.	Ann. d. Phys.	17(1905)	891—921
9	Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?	Ann. d. Phys.	18(1905)	639—641
10	Eine neue Bestimmung der Moleküldimension.	Ann. d. Phys.	19(1906)	289—306
11	Zur Theorie der Brownschen Bewegung.	Ann. d. Phys.	19(1906)	371—381
12	Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption.	Ann. d. Phys.	20(1906)	199—206
13	Das Prinzip von der Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und die Trägheit der Energie.	Ann. d. Phys.	20(1906)	627—633
14	Über eine Methode zur Bestimmung des			

	Verhältnisses der transversalen und longitudinalen Masse des Elektrons.	Ann. d. Phys.	21(1906)	583—586
15	Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme.	Ann. d. Phys.	22(1907)	180—190
16	Über die Gültigkeitsgrenze des Satzes vom thermodynamischen Gleichgewicht und über Möglichkeit einer neuen Bestimmung der Elementarquanta.	Ann. d. Phys.	22(1907)	569—572
17	Berechtigung zu meiner Arbeit: „Plancksche Theorie der Strahlung etc."	Ann. d. Phys.	22(1907)	800
18	Über die Möglichkeit einer neuen Prüfung des Relativitätsprinzips.	Ann. d. Phys	23(1907)	197—198
19	Bemerkungen zu der Notiz von Hrn. Paul Ehrenfest: „Die Translation deformierbarer Elektronen und Flächensatz."	Ann. d. Phys.	23(1907)	206—208
20	Über die vom Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie.	Ann d. Phys.	23(1907)	371—384

21	Theoretische Bemerkungen über die Brownsche Bewegung.	ZS. f. Elektrochem.	13(1907)	41—42
22	Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen.	Jahrb. d. Radioakt.	4(1907)	411—462
23	Berichtigung zu (22).	Jahrb. d. Radioakt.	5(1908)	98—99
24	Über die Elektromagnetischen Grundgleichung für bewegte Körper. (Einstein u. J. Laub.)	Aun. d. Phys.	26(1908)	532—540
25	Über die im elektromagnetischen Felde auf ruhende Körper ausgeübten ponderomotorischen Kräfte. (Einstein u. J. Laub.)	Ann. d. Phys.	26(1908)	541—550
26	Berichtigung zu (24).	Ann. d. Phys.	27(1908)	232
27	Eine neue elektrostatische Methode zur Messung kleiner Elektrizitätsmengen.	Phys. Zeitschr.	9(1908)	216—217
28	Elementare Theorie der Brownschen Bewegung.	ZS. f. Elektrochem.	14(1908)	235—239
29	Bemerkungen zu unserer Arbeit: „Über die			

	elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte Körper." (Einstein u. J. Laub.)	Ann. d. Phys.	28(1909)	445—447
30	Bemerkung zu der Arbeit von D. Mirimanoff: „Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik bewegter Körper von Lorentz und das Prinzip der Relativität."	Ann. d. Phys.	28(1909)	885—888
31	Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems.	Phys. Zeitschr.	10(1909)	185—193
32	Zum gegenwärtigen Stande des Strahlungsproblems. (W. Ritz u. Einstein).	Phys. Zeitschr.	10(1909)	323—324
33	Über die Entwickelung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung.	Phys. Zeitschr.	10(1909)	817—826
34	Über einen Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung und seine Anwendung in der Strahlungstheorie. (Einstein u. L. Hopf.)	Ann. d. Phys.	33(1910)	1096—1104
35	Statistische Untersuchung der Bewegung			

	eines Resonators in einem Strahlungsfeld.	Ann. d. Phys.	33(1910)	1105—1115
36	Theorie der Opalescenz von homogenen Flüssigkeiten und Flüssigkeitsgemischen in der Nähe des kritischen Zustandes.	Ann. d. Phys.	33(1910)	1275—1298
37	Le principe de relativité et ses consiquences dans la physique moderne.	Arch. d. sc.	29(1910)	5—28, 125—144
38	Sur le théorie des quantités luminenses et la question de la localisation de l'énergie électromagnetique.	Arch. d. sc.	29(1910)	525—528
39	Sur le forces pondéromotrices qui agissent sur des conducteurs ferromagnétique et parcourus par un courant.	Arch. d. sc.	30(1910)	323—324
40	Bemerkung zu dem Gesetz von Eötvös.	Ann. d. Phys.	34(1911)	165—169
41	Eine Beziehung zwischen dem elastischen Verhalten und der spezifischen Wärme bei festen Körper mit einatomigem Molekül.	Ann. d. Phys.	34(1911)	170—174
42	Bemerkungen zu P. Hertzschen Arbeiten:			

	„Über die mechanischen Grundlagen der Thermodynamik."	Ann. d. Phys.	34(1911)	175—176
43	Bemerkung zu (42).	Ann. d. Phys.	34(1911)	590
44	Berichtigung zu (10).	Ann. d. Phys.	34(1911)	591—592
45	Elementare Betrachtung über thermische Molekularbewegung in festen Körper.	Ann. d. Phys.	35(1911)	679—694
46	Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes.	Ann. d. Phys.	35(1911)	898—908
47	Die Relativitätstheorie.	Jahresb. Zürich.	56(1911)	1—14
48	Zum Ehrenfestschen Paradoxon. (Bemerkung zu V. Varičaks Aufsatz.)	Phys. Zeitschr.	12(1911)	509—510
49	Thermodynamische Begründung des photochemischen Äquivalentgesetzes.	Ann. d. Phys.	37(1912)	832—838
50	Lichtgeschwindigkeit und Statik des Gravitationsfeldes.	Ann. d. Phys.	38(1912)	355—369
51	Zur Theorie des statischen Gravitationsfeldes.	Ann. d. Phys.	38(1912)	443—458
52	Nachtrag zu meiner Arbeit:, , Thermodynami-			

	sche Begründung des photochemischen Äquivalentgesetzes."	Ann. d. Phys.	38(1912)	881—884
53	Antwort auf eine Bemerkung von J. Stark: „Über eine Anwendung des Planckschen Elementargesetzes."	Ann. d. Phys.	38(1912)	888
54	Relativität und Gravitation. Erwiderung auf eine Bemerkung von M. Abraham.	Ann. d. Phys.	38(1912)	1059—1064
55	Bemerkung zu Abrahams vorangehender Auseinandersetzung: „Nochmals über Relativität und Gravitation."	Ann. d. Phys.	39(1912)	704
56	Einige Argumente für die Annahme einer molekularen Agitation beim absoluten Nullpunkt. (Einstein u. O. Stern.)	Ann. d. Phys.	40(1913)	551—560
57	Zum gegenwärtigen Stande des Gravitationsproblems.	Phys. Zeitschr.	14(1913)	1249—1266
58	Déduction thermodynamique de la loi de l'équivalence photochemique.	Journ. d. Phys.	3(1913)	277—282

59	Physikalische Grundlagen einer Gravitationstheorie.	Jahresb. Zürich.	58(1913)	284—290
60	Max Planck als Forscher.	Naturwiss.	1(1913)	1077—1078
61	Die Nordströmsche Gravitationstheorie vom Standpunkt des absoluten Differentialkalküls (Einstein u. Fokker.)	Ann. d. Phys.	44(1914)	321—328
62	Nachträgliche Antwort auf eine Frage von Herrn Reissner.	Phys. Zeitschr.	15(1914)	108—110
63	Prinzipielles zur verallgemeinerten Relativitätstheorie und Gravitationstheorie.	Phys. Zeitschr.	15(1914)	176—180
64	Beiträge zur Quantentheorie.	Verh. D. Ges.	16(1914)	820—828
65	Kovarianzeigenschaften der Feldgleichungen der auf die verallgemeinerte Relativitätstheorie gegründeten Gravitationstheorie. (Einstein u. M. Grossmann.)	ZS. f. Math. u. Phys.	63(1914)	215—225
66	Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation.			

	(Einstein u. M. Grossmann.)	ZS. f. Math. u. Phys.	63(1914)	225—261
67	Basis physiques d'une théorie de la gravitation. (Einstein et M. Grossmann.)	Arch. d. sc.	37(1914)	5—12
68	Die formale Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1914	1030—1085
69	Bemerkung zu P. Harzers Abhandlung: „Über die Mitführung des Lichtes in Glas und die Aberration."	Astron. Nachr.	199(1914)	7—10
70	Antwort auf eine Replik Paul Harzers.	Astron. Nachr.	199(1914)	47—48
71	Antwort auf eine Abhandlung M. v. Laues: „Ein Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung und seine Anwendung auf Strahlungstheorie."	Ann. d. Phys.	47(1915)	879—885
72	Experimenteller Nachweis der Ampèreschen Molekularströme. (Einstein u. J. de Haas.)	Verh. D. Ges.	17(1915)	152—170, 203, 420
73	Experimenteller Nachweis der Ampèreschen Molekularströme.	Naturwiss.	3(1915)	237—238

74	Über die Grundgedanken der allgemeinen Relativitätstheorie und Anwendung dieser Theorie in der Astronomie.	Berlin. Ber.	1915	315
75	Über einige anschauliche Überlegungen aus dem Gebiete der Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1915	423
76	Zur allgemeinen Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1915	778—786, 799—801
77	Erklärung der Perihelbewegung des Merkurs aus der allgemeinen Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1915	831—839
78	Die Feldgleichungen der Gravitation.	Berlin. Ber.	1915	844—847
79	Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie.	Ann. d. Phys.	49(1916)	769—822
80	Über Friedrich Kottlers Abhandlung: „Über Einsteins Äquivalenzhypothese und die Gravitation."	Ann. d. Phys.	51(1916)	639—642
81	Ein einfaches Experiment zum Nachweis der Ampèreschen Molekularströme.	Verh. D. Ges.	18(1916)	173—177
82	Zur Begründung der Tetrode-Sackurschen			

	Bestimmung der Entropiekonstanten.	Verh. D. Ges.	18(1916)	41*
83	Elementare Erklärung des Wasserwellen und des Fliegens.	Verh. D. Ges. Naturwiss.	18(1916) 4(1916)	297* 509—510
84	Thermodynamische Ableitung des photochemischen Äquivalentgesetzes.	Verh. D. Ges.	18(1916)	297*
85	Strahlungs-Emission und Absorption nach der Quantentheorie.	Verh. D. Ges.	18(1916)	318—323
86	Über gerechnete drahtlosen Telegraphie.	Verh. D. Ges.	18(1916)	317*
87	Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation.	Berlin. Ber.	1916	688—696
88	Hamiltonsches Prinzip und allgemeine Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1916	1111—1116
89	Ernst Mach.	Phys. Zeitschr.	1916	101—104
90	Zur Quantentheorie der Strahlung.	Phys. Zeitschr.	18(1917)	121–128
91	Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1917	142—152
92	Eine Ableitung des Theorems von Jacobi.	Berlin. Ber.	1917	606—608

93	Zum Quantensatz von Sommerfeld und Epstien.	Verh. D. Ges.	19(1917)	82—92
94	Marian v. Smoluchowski.	Naturwiss.	5(1917)	737—738
95	Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie.	Ann. d. Phys.	55(1918)	241—244
96	Über Gravitationswellen.	Berlin. Ber.	1918	154—167
97	Kritisches zu einer von Hrn. de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen.	Berlin. Ber.	1918	270—272
98	Der Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1918	448—459
99	Über eine Vereinfachung der Riemannschen Theorie der Krümmung und die Weylsche Theorie über Gravitation und Elektrizität.	Verh. D. Ges. Berlin. Ber.	20(1918) 1918	99 615*
100	Bemerkung zu E. Gehrkes Notiz: „Über den Äther."	Verh. D. Ges.	20(1918)	26
101	Planck als wissenschaftliche Persönlichkeit.	Verh. D. Ges.	20(1918)	69
102	Über ein auf Totalreflexion hindeutendes			

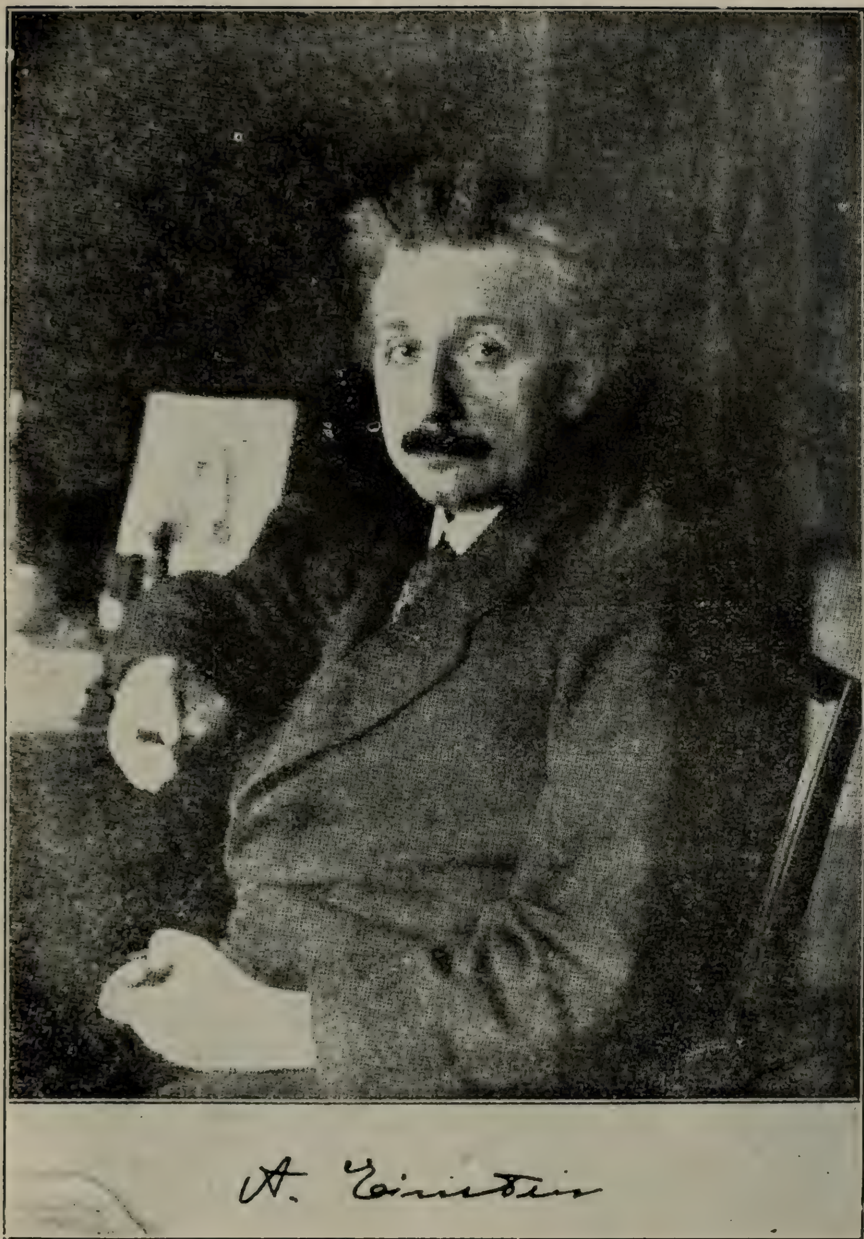
	Randphänomen bei Röntgenphotographien.	Verh. D. Ges.	20(1918)	99
103	Dialog über Einwände gegen die Relativitätstheorie.	Naturwiss.	6(1918)	697—702
104	Notiz zu E. Schrödingers Arbeit: „Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes."	Verh. D. Ges.	20(1918)	115—116
105	Bemerkung zu Herrn Schrödingers Notiz: „Über ein Lösungssystem der allgemeinen Kovarianten Gravitationsgleichungen."	Phys. Zeitschr.	19(1918)	165—168
106	Lassen sich Brechungsexponenten der Körper für Röntgenstrahlen experimentell ermitteln.	Verh. D. Ges.	20(1918)	86—87
107	Motiv des Forschens.		(1918)	
108	Spielen Gravitationsfelder im Aufbau der materiellen Elementarteilchen eine wesentliche Rolle?	Berlin. Ber.	1919	349—356
109	Bemerkung über periodische Schwankungen der Mondlänge, welche bisher nach der Newtonschen Mechanik nicht erklärbar er-			

	scheinen.	Berlin. Ber.	1919	433—436
110	Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie.	Naturwiss.	7(1919)	776
111	Time, Space and Gravitation.	The Optician.	58(1919)	187—188
112	Über eine Veranschaulichung der Verhältnisse im sphärischen Raum.	Berlin. Ber.	1919	463*
113	Über die Feldgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie vom Standpunkte des kosmologischen Problems und des Problems der Konstitution der Materie.	Berlin. Ber.	1919	463*
114	Trägheitsmoment des Wasserstoffmoleküles.	Berlin. Ber.	1920	65*
115	Schallausbreitung in teilweise dissozierten Gasen.	Berlin. Ber.	1920	380—385
116	Geometrie und Erfahrung.	Berlin. Ber.	1921	123—130
117	Über eine naheliegenden Ergänzung des Fundaments der allgemeinen Relativitätstheorie.	Berlin. Ber.	1921	261—264

三、著　書（追　加）

IX. Motvie des Forscheus.

これは、プランク敎授の滿六十歲紀念講演が獨逸物理學會で一九一八年四月二十六日に行はれましたが、そのときの講演を集めた Zu Max Plancks 60. Geburtstag (C. F. Müller:che Hofbuchhandlung) と云ふ書のなかに出てゐるものです。一九一八年刊行です。


A. Einstein

アインスタインの肖像寫眞に就て

私はこの書の序文のなかで卷頭に掲げた寫眞のことに言ひ及びましたが、その寫眞を載せる序に、アインスタイン教授のいろ〳〵な肖像や寫眞を集めてみたら、かなり興味があるでもあらうと思ひまして、手近かにある數種のものを記事の中途に挾んで載せることにいたしました。「それらの出處や所感などを一と通り左に記してみませう。」

一、卷頭所載の寫眞

これは序文に云ひましたやうに獨逸ベルリンのカイゼル・ウイルヘルム・インスチツートのなかで、一九一四年四月田丸節郎氏がそこの化學の教授ハーバー氏と並んだ姿を撮影された原版から取り出したものです。「透徹なきりつとした、併しどこかに充分の柔しみをもつた豐麗な樣子が能くあらはれてゐると思ひます。」ベルリンへ招ばれて行つた當時の若々しい元氣に充ちた俤が最も能く偲ばれます。私の逢つたアインスタイン氏はやはり他の何

れでもなくて、この寫眞のそれであることを感じられます。」印象記と對照して御らんになつて下さい。」

二、別四頁向(序歌の次)所載の寫眞

これは今年(一九二一年)獨逸出版のボルン著「アインスタイン相對性原理」の卷頭にあるものですが、多分近ごろの寫眞らしく思はれます。」前のと比べて大層圓熟した立派な趣があらはれてゐます。」寺田寅彦氏が「改造」の本年十月號に書かれたもののなかに英國の新聞の記事に出た風采を記されてゐますが、この寫眞と對照して特に興味があると思ひますから、玆にそれを引用させて頂きます。」

「一寸見た處では別に堂々とした樣子などはない。」中背で肥つて居てがつしりして居る。」四十三にしてはふけて見える。皮膚は蒼白に黃味を帶び、髮は黑に灰色交りの梳らない團塊である。額には皺、眼のまはりには疲勞の線條を印して居る。」併し眼其れ自身は磁石のやうに牽きつける眼である。それは夢を見る人の眼であつて冷たい打算的なアカデミツタ

な眼ではない。」普通の視覺の奥に隱れた或るものを見透す詩人創造者の眼である、眼の中には異樣な光がある。」どうしても自分の心の內部に生活して居る人の眼である。」

三、一三六頁向所載の肖像スケッチ

これは本年三月愛知敬一氏がベルリンに於てアインスタイン敎授を訪ねられた際、貰つて來られたものです。」第二のより寧ろ第一の寫眞に近い顏容があらはれてゐますけれども全體に何となしに陰氣な調子を帶びて描かれてゐます。」上に引いた風采記事のなかにあるやうに、額の皺、眼のまはりの疲勞の線條のあるのは實際なのでせうが、併し肝心のあの光つた、夢を見る暖かい眼がこゝには逸せられてゐるのが、斯うした感じを起すのではないかと私は思ひます。」

四、一六二頁向所載の肖像スケッチ

これはアインスタイン著「特殊及び一般相對性原理」のローソン氏英譯に出てゐるもので桑木、池田兩氏の邦譯にも轉載してあります。」第三の肖像とは違つて、寧ろ平明な樂觀的

な趣に寫されてゐますが、それだけに深みを失つてゐはしないかと思はれます。けれど夢見る眼はよほどよく再現されてその或る特調を捉へてゐます。」彼れ是れを比較しておもしろく感じます。」

五、一八四頁向所載の寫眞

これはスロッソン著「アインスタイン入門」に載つてゐるもので、やはり近ごろの寫眞であるらしく、且つ机に倚り書棚を背にした樣子が、多分ベルリンのカイゼル・ウイルヘルム研究所の研究室に於けるものではないかと想像されます。」第二の程、立派ではないが、却つて餘所向きでない姿が慕はしく見られます。」

六、二〇六頁向所載の寫眞

これはもと「エンジニヤリング・プログレッス」の一九二〇年七八月號に載つたもので、竹内時男氏著「書き換へられたる物理學」にも轉載されてあります。」前の第五の寫眞とよほど能く似通つた處がありますが、眼や顏つきや身體全體の調子に一層の軟らかみが滲み出

てゐて大變なつかしい肖像です。私は第一の寫眞の連續としてこの寫眞を眺めることによりて、自分の知つてゐる敎授の俤が、いち番生き生きとして眼のまへに思ひ浮んでくるやうな氣がします。

（一九二一年一一月）

七、別六頁（序の終）向所載の寫眞

私は今本書の增版を出すに際して新にこの寫眞をこゝに挿入し得たことを心うれしく感じます。これは昨年（一九二二年）十月室伏高信氏がアインスタイン敎授を訪ねて親しく持ち歸られたもので、最近に敎授がアメリカに講演にゆかれた際に撮影せられたものださうであります。第六の寫眞の俤を一層いき〳〵と鮮明にあらはし、そして同時に第一の寫眞に著しく似通つてゐるのがよく解ります。髣々とした頭髮や豐麗な瞳眼や、爛熟した額や頰や、この稀世の學才の一頂點がそこに美くしく滲み出てゐるやうな氣がして、私は寧ろ之に對して敬虔なる感を生ぜずにはゐられません。

終りに以上の肖像寫眞をこの書に轉載することに關して異常な好意を寄せて頂いた愛知敬一、阿部良夫、竹内時男、及び室伏高信の諸氏に對して厚く感謝の意を申し述べます。

（一九二二年一月）

アインスタインと
相對性理論

附錄

幾何學とは何か

アインスタインの人となるまで

アインスタインと相對性理論附錄

幾何學とは何か

相對性原理は時間及び空間の觀念に著しい變化を與へました。舊來の觀念に慣れてゐる人たちにはその意味を理解して之に移ることが容易に出來ません。エッヂングトンの「空間、時間、及び重力」と云ふ書物のなかに之を興味ふかく說明したものがありますので、一般に薦めたい心で茲に引用いたします。彼は物理學上で取扱ふべき、卽ち私たちの知覺の對象となるべき時間及び空間の本當の意味を左の對話のなかで相對論者の言葉として示してゐます。極めて微細に之を味ふときには、それから敎へられる處が尠くはないであらうと思ひます。

實驗物理學者
純正數學者
相對論者――物理學に於ける時間及び空間の新觀念を承認する人
右三人の對話

相「ユークリッド幾何學にこんな定理のあることは誰でも知つてゐるでせう。∨三角形の任意の二邊は合せて第三邊よりも大きい。∧この定理が本當であると信ずるのに都合のいゝ理由が今でもあるでせうか、どうでせうか。あなた方のうちで誰でもいゝから聞かせて下さい。」

數「私にすればその定理が眞であるかどうかと云ふことは判斷出來ません。私はそれをもつと簡單だと思はれる他の定理又は公理から、私たちの信頼する論

理で導き出すことは出來ます。然う云ふ公理が眞であるなら、この定理も眞ですし、公理が眞でなければ定理も一般には眞でありません。公理が眞であるかないかは私は云へないことですし、又それは私の考へる領分でもありません。」

物「併し斯う云ふ公理が眞であると云ふのは自明のとだと見られますまいか。」

數「それは私には決して自明ではありません。然う云ふ考へは一般に棄てられてしまつてゐると私は思ひます。」

物「けれどそれらの公理の上にあなたは論理的な、そして矛盾のない幾何學の體系を見出すことが出來たのですから、之は公理が眞であると云ふ間接の證據になりはしますすまいか。」

數「いいえ。ユークリッド幾何學ばかりが矛盾のない幾何學體系ではありません。公理の異つた組合せを選ぶと、例へばロバチェフスキーの幾何學に達するこ

とも出來ます。そしてそこではユークリッドのいろ〳〵な定理は一般に成り立たなくなります。私の見解では斯んな種々の幾何學のうちでどれを選ぶと云ふ目あては何にもありません。」

相「そんならユークリッドの幾何學が一番大切なものだと云ふのはどんな譯からですか。」

數「私はそれが一番大切だとさつぱり思ふわけにはゆきません。けれど、どうも私にはよく解りませんが、私の友人の物理學者は他の幾何學よりかも餘計にユークリッド幾何學に興味をもつてゐて、始終私の處へそのなかの問題をもつてまゐります。そんなわけで私たちはユークリッド體系にばかり不相當な注意を向けるやうになりました。それでもリーマンのやうな偉大な幾何學者がゐて幾らか本當の見方を恢復するやうにいたしました。」

相（物理學者に向つて）「何故あなたはユークリッド幾何學にばかり特別の興味をもつてゐるのですか。それを本當の幾何學だと思つてゐるからですか。」

物「はい然うです。私たちの實驗がそれを證據だてます。」

相「そんならあなたはどうして三角形の二邊の和が第三邊より大きいと云ふことを證明しますか。」

物「勿論私はいろ〳〵な場合に當つて見てそれを證據だてるだけですが、實驗の誤差は免がれません。ですから數學者のやるやうに一般的でもなく又完全でもありませんが、併しそれは物理學では普通承認されてゐることで、只なるたけ廣い範圍の實驗から歸結させるやうにするのです。そしてさう云ふ證明で私は滿足します。」

相「私もやはりそれで滿足しませう。一つ格段な例に就てあなたに伺ひます。

玆に三角形 ABC がありますが、あなたはどうして AB+BC が ACより大きいことを證明しますか。」

物「私は物指をとつて三邊を測ります。」

相「おつと、それでは話が少し私とは違ひます。私は幾何學の定理――つまり空間の性質を云つてゐるので、物質のことを申してはゐません。あなたの實驗上の證明と云ふのは、物質的な物指をいろ／＼な位置においたときどうなるかと云ふだけのことですね。」

物「光線をつかつて測るやうにしても宜うございます。」

相「それは益〻いけません。あなたは今度は光の性質を話してゐるのですもの。」

物「どんな風な測定でもいけないと仰しやるなら、もうあなたとお話は出來ま

せん。測定は私が自然を見出さうとする唯一の手段です。私は形而上學者ぢやありませんからね。」

相「そんなら長さとか距離とか云ふのはあなたがいつも物指や光を用ゐて測つてゐる量だといたしませう。あなたは實驗的にさう云ふ測られた長さの間に成立つ法則を研究して、それでもつて幾何學を見つけ出したと云ふのですね。私たちはそれを「自然幾何學」とでも申しませう。それは明らかに數學者の頭腦が發明した他の幾何學の體系なんかよりももつと大切なものに相違ありますまい。けれどそのものは物質的な物指の關係——つまり物質の性質を含んでゐるのを忘れてはなりません。その法則は物理學の法則と丁度同じもので、例へば電磁氣の法則みたいなものです。」

物「あなたは空間を磁氣の場のやうなものとごらんになるのですか。それは解

り兼ねます。」

相「あなたは何か器械がなくては世界を穿鑿することが出來ないと仰しやるのですね。あなたが物指で穿鑿なさるなら自然幾何學をお見つけになるし、磁針をお用ゐになるなら、磁氣の場をお見付けになるでせう。私たちが擴がりの場とか空間の場とか呼んでもいゝものは、磁氣の場と同じく物理的の性質のものです。その兩方とも一緒にエーテルのなかに存在してゐるとお考になることも出來ます。どちらの法則も實驗で定めなくてはなりません。勿論空間の場の或る近似的な法則(ユークリッド幾何學)を私たちは子どもの時分から知り慣れてゐます。けれども之等の法則が何か知ら必然のものだと云ふことや、宇宙空間の場の餘處の方にかう云ふ法則の適用しない處はあり得ないと云ふやうな考へは捨てなくてはなりません。どんなか遠い處で空間は實際磁氣の場に似てゐる

かも知れないのですが、そんなことを、私は獨斷しやうとは思ひません。私の云ふ處は只空間も全く同樣に實驗的の研究で判るものだと云ふ點にあります。

そこで先づ自然幾何學の法則を試めして見ませう。宜うござんすか、テープ尺でこの三角形を測りますよ。AB=$39\frac{1}{8}$吋, BC=$\frac{1}{8}$吋, AC=$39\frac{7}{8}$吋, どうです、あなたの定理は成り立ちませんね。」

物「それはいけないことは判りきつてゐます。あなたはABを測つたときテープ尺をひどくお引張りになつたのですもの。」

相「どうしてそれがわるいんです。」

物「勿論、長さを測るのには剛い物指でなくてはなりません。」

相「はゝあ、それは長さの定義に對する大切な追加ですね。ところで剛い物指とは一體どんなものですか。」

物「いつも同じ長さを保つてる物指です。」

相「でも私たちは今長さを剛い物指で測られた量だと定義しました。ところでこの物指の長さが變るかどうかを試めすのには別の剛い物指が要りますし、又この第二の物指を試めすには第三の物指が要るわけで、限りがありません。あのエジプトの時計と午砲との話があるぢやありませんか。午砲を打つ人は時計を見てそれを打たうとし、時計がかりの人は午砲で時針を直さうとするんです。それは駄目にきまつてゐますよ。あなたも長さを剛い物指で定めておきながら剛い物指を亦長さで定めてはいけません。」

物「どうも嚴格の定義のことは私によく判りかねます。すべてに關はつてる暇がないので。そして物理學には他に私の注意を惹くやうなおもしろい事がらがあんまり澤山あるものですからね。ところであなたは御自分でお使ひになる一

切の言葉の論理的の定義を確かに準備してゐるとお思ひになりますか。」

相「とんでもないことです。私はさう云ふ事がらに嚴確であらうとは思ひません。尤も科學の基礎を穿鑿しやうとしてゐる人々の仕事の價値を充分味つてはゐますけれとも、私自身の興味は主にその上に建てられた構造にあるのです。けれどもそのうへに更に別の階層を建て增さうとするときには、どうしても基礎を深める必要が起ります。私は目的なしで長さの精確な意味に達しやうとしてゐるのではありません。ふしぎな理論はくる〳〵と浮び廻つてゐますが、あなたはそれに對し異見をお感じになりませんか。そして多分あなたは御考を誤謬のまゝで通さうとはなさりますまい。まあ、ともかくあなたが長さを小數點以下八位までも求めやうとなさる時に、測定が正しいかどうかを決める標準をおもちにならなくてはなりますまい。」

物「剛いとはどう云ふのかを定義するのは困ります。が實際には物指がいろいろな事情で目につく程の長さを變へるかどうかは云ふことが出來ます。」

相「いゝえ。長さを定める器械のことを云ふのに、長さの變化の考を持ち出しちやいけませんね。勿論、長さの標準尺はそれが何から作られてゐやうとも長さを變へることは出來ません。一米といふのが或る棒の長さと定義されるなら、その棒はどんなことがあつても一米の長さより外のものであつてはならないのです。私たちが若しこの棒の長さが變ることを確めたとしましたなら、明らかに私たちは長さの定義を變へなくてはならなかつたのです。あなたは私のテープ尺が本當の標準尺でない――剛くないと仰しやいましたが、それはテープ尺の長さが變つたためではない筈です。テープ尺が長さの標準であるなら、それの長さは變りやうがないからです。何かもつと外の性質に缺陷があるんで

せう。

まあ、お考になつてごらんなさい。あなたは一つの剛い物指をもつてゐるつもりでもそれはいつも近似的であるのを御存じでせう。そしてそれと比較しやうとなさるのは測ることの出來ない理想の長さではなくて、やはり終には達することの出來る理想上の物質的構造物なのです。通常の物指は缺陷をもつてゐます——曲つたり、溫度によりて伸びたりします——が、さう云ふ缺陷は適當な注意で取り除けられるのです。そしてそれらを皆取り除けたとき近づく極限があなたの剛い物指なのです、あなたは長さの或る餘分の定義に訴へずとも之等の缺陷を定義することはお出來になります。例へば同じ物質の二つの棒があつたとき、其の兩端をお互に丁度重ね合せておいて、一方を熱するとその端がだんだん重ね合せられないやうになるでせう。それは申すまでもなく物質が溫

度に對する膨脹係數をもつてゐるからですが、斯う云ふ樣にしていろ〳〵な金屬の溫度係數を實驗的に比較し、それをだん〳〵減少する順序に列べることが出來ます。ともかくこんな方法であなたはその理想的な剛い棒の性質を判きりさせることがお出來になるので、そこへ長さと云ふ言葉を持つて來られるには及びません。」

物「なる程、それが長さを定義する方法にちがひありませんね。」

相「えゝ、ですから私たちの空間に對する知識はみんな物質的の物指の關係によつてゐると云ふので、それの構造の或缺陷とは關はりのないものであることが解りませう。」

物「私は然うだとはまだ確かり云ふわけにまゐりません。物質的な物指棒の考へを持たない場合でも、AB＝2CD が本當か、うそかと云ふことには確かに意

味があります。例へば云つて見ますとAとBとの間には、CとDとの間よりも二倍だけ澤山の紙が入つてゐると云ふやうな風です。」

相「若し紙が一樣ならばですね。併しそこで紙が一樣だと云ふのはどんな意味をもつて居るのでせうか。つまり與へられた長さの中にある分量が一定であると云ふことなのでせう。私たちはやつぱり長さを定義する必要に戻つて來てしまひます。

若しあなたがその代りにAとBとの間の〝空間〟の分量がCとDとの間よりも二倍あると仰つしやるならそれでも同じことが當て篏まります。一樣な空間で充たした間隔を想像してごらんなさい。一樣なと云ふことは單にあなたの剛い物指棒の各吋の中に空間の同じだけの分量がはいつてゐるといふことを意味するのです。あなたは空間を謂はゆる等しい量に分けるのに勝手にあなた

ら免がれることは出來ますまい。」

相「全く本當です。けれどもあなたは測度を補正して何を得やうとなさつてゐるのですか。それらが標準に對して異つてゐるときにあなたは測度を補正するのでせう。完全な氣體寒暖計の讀みを得やうとして水素寒暖計の讀みを補正するのもそれです。何故なら水素の分子は有限な大きさを持つて居り、お互に特別な引力を及ぼしますから標準としては無限に小さな分子を持つてゐる理想的な氣體を選ぶのです。ところが現在の場合には、剛い棒で作られた測度を補正しやうと思つて、あなたはどんな標準を目あてになさるのですか。」

物「どうも難かしうございますね。私は自分の測度から離れては空間の知識を持つてゐません。で剛い棒よりもつといゝ標準を持ちません。それですから補正された測度が何を意味するかは解りかねます。けれども最初に話しあつたあ

の定理の誤謬は空間の性質に變化があるためだとするよりは、寧ろ測度が惡いからだとした方がもつと自然らしく私には見えます。」

相「それはあなたがまだちつとばかり形而上學者だからではありますまいか。あなたは測定に對して一番適切だと思ふ一つの空間を考へてお出でになります。そして此の空間を歪ませるよりか寧ろ測度を投げ捨てやうとなさつてゐられます。そのやうな空間を信ずる理由がたとへあつたにしても、それをユークリッド空間だと假定するために、どんな理由が可能でありませうか。さう信ずるためのあなたの唯一の理由は、これまであなたの測度がそれをさう見えるやうにしたと云ふに過ぎますまい。ところでいま空間の或部分の測度が非ユークリッド幾何學を選ばせるとするなら、ユークリッド空間を假定する理由は、すべて消滅してしまひます。數學的に且つ觀念的にはユークリッド空間も非ユー

クリッド空間も同じ立場にあります。私たちがユークリッド空間を選ぶといふのは測度に基づくのであつて、それは測度と運命を共にしなければなりません。」

物「こんな風に考へさせてください。私は自然に於て絶對の意味を持つてゐる長さと名づける或る物を測らうとしてゐるのだと信じます。ですからそれは自然の法則との聯關に於いて大切なのです。斯う云ふ長さはユークリッド幾何學に從ひます。重力のやうな攪亂が存在しない場合には、剛い棒をもつての私の測度はそれを精密に決定すると私は信じます。併し重力の場の中では測度が補正されずにそれと精確に與へないかもしれないと思ふのは必ずしも理由のないありますまい。」

相「あなたはそこで三つの假說をお用ゐになつてゐます。――（一）自然に於て長さに相當する絶對のものがあるといふこと（二）この絶對の長さの幾何學

はユークリッド的であること。(三)重力がない場合には實際の測度はこの長さを精密に定めると云ふこと。ですが、私はこれらの假定の必要をちつとも認めません。そしてそれらをなくしてしまはうと思ひます。Hypotheses non fingo (私は假說を作りません。)第二の假說は特に反對したく思はれます。あなたは自然に於けるこの絕對のものがユークリッド幾何學の法則に從ふと假定なされてゐます。そんな風に自然に對する法則を勝手に立てるのは、確に科學の原理に反してゐます。私たちは自然の法則を實驗に依つて見出さなくてはなりません。此の場合に唯一の實驗の證據と云ふのは、測られた長さ、それはあなた御自身の許容に依ると必ずしも此の絕對のものと同じではありません)が時にはユークリッド幾何學に從ひ、時にはさうでないと云ふことです。次にあなたの第三の假說は、或る程度、例へば小數點以下六位を超えると疑はしくなると思はれないこ

ともありますまい。そしてさう云ふことはあなたのもつと微細な測定を破壊することになるでせう。併し私があなたと根本的に異ふところは第一の假說にあります。私たちが長さを測るときに決定しやうと試みるやうな、さう云ふ絶對な量が自然の中にあるでせうか。私たちが物質の與へられた一片の中にある分子の數を決定しやうと試みるには、間接な方法を用ゐなければなりません。そしていろ〳〵異つた方法は異つた結果を與へるかも解りません。それでもそこに一定數の分子があると云ふことは誰も疑ひますまい。ですから或方法は理論的に正しくて他のものは不精密であると云つても、それには或る意味があります。數へることは、この場合に絶對の方法であるらしく見えます。併しながら他の物理的の測定はこれと異つた立場にあるやうに私には思はれます。長さ、質量、力などと云ふ物理的の量は純粹な數ではないので、只特別な規則に

依り物理的な實驗を行つてのみ達せられる結果であると定義することが出來ます。
それですから私は長さを測る方法の定義から離れては、自然に於けるどんな〝長さ〟をも考へることが出來ません。そして若しさう云ふものがあるなら、それは實驗の範圍を超えてゐるのですから、私たちはそれを物理學に於いては認めないでもいゝのです。勿論私たちは直接に實驗で與へられないやうな、そして理論に於ては根本的な役目を持つてゐるやうな或る量に出逢ふことがいつも出來ます。さうなれば私たちの理論上の式に於ける本來の道に移ることになるのかも知れません。けれどもこんな量を假定してそれに對するアプリオリーの法則を立てながら、それが利用されるやうな萬一の場合を待つのはよくはありません。」

物「そんならあなたは定理が成立たない場合には、測定棒が惡いと仰つしやるのですか。」

相「いつでも責任が測定棒にやつて來ます。自然幾何學は物質的な物指の關係の理論です。自然幾何學のどんな定理も剛い物指の關係を確めるものです。ですからそれに依つて物指が信用出來るか出來ないかゞ定められなくてはなりません。併し剛い物指が惡いとは仰つしやいますな。それは實在しない或る標準を意味するものなのですから。」

物「あなたのお話になつてる空間は物質の擴がりの關係から抽象した一種ものぢやありませんか。」

相「全く然うです、そして空間は非ユークリッド的、即ち通俗な言葉で云へば歪むでゐることが出來ると信ずるかどうかを私があなたにお尋ねするのは、そ

れによりてあなたの構想を決して破らうとする爲めではありません。私はたゞ物質の擴がりの關係が御考へとは稍異つた法則に從ふことを云はうと思ふのです。私たちが空間の性質を研究しやうとする時に、私たちのさがしてゐるのはいつも斯う云ふ擴がりの關係なのです。それですから私たちに認識される空間は斯う云ふ物質的關係の抽象であつて、もつと超越的な何物かではない筈です。學校で幾何を敎へる近頃の方法はまるで間違つたものです。若しその空間が斯う云ふ意味をもつてゐないのだとしたなら、生徒たちに幾何學の定理を測定によつて試めさせるのは見當違ひになるでせう。

私は推察してゐますが、多分あなたの空間に對する一般のお考へでは、この擴がりの關係からの抽象と云ふのではご滿足にならないのでせう。さうしてきつとあなたはそれ以上の何物かを要求なさるでせう。私はさう云ふ印象を攪亂す

る必要があるとは思ひません。が併しそれは、私たちが現に幾何學をユークリッド的とか非ユークリッド的とか云つてゐる場合に、少くともその話してゐるものは此のもつと超越的なものゝ性質ではないと云ふことをあなたがご承知なさると思ふからです。」

「空間は物理學的でも形而上學的でもなく、單に規約的のものであると云ふ考へは廣く行はれてゐました。ここにはポアンカレーの〝科學と假說〟の中から空間の斯う云ふ考へを記したものを引用して見ます。

〝若しロバチェフスキーの幾何學が本當なら、非常に遠い星の視差は有限になりますし、またリーマンの幾何學がほんとうならそれが負數になります。これらは實驗の範圍のなかに現はれる結果です。そして天文學上の觀測がこの二つの幾何學のどちらが適するかを判斷させることも望まれます。けれども私たち

が天文學で直線と名づけるものは單に光線の徑路なのです。それですから若し私たちが負數の視差を發見するか、またはすべての視差が或る限界よりも大きいと證明することが出來たとしても、私たちは次の二つの結論の中のどちらかを選ぶことが出來たでせう。即ち私たちはユークリッド幾何學を見捨てるか、または光の法則を變へて、光が嚴格には直線的に進まないと想像するかのどちらでもいゝのです。こゝに附け足す必要はありますまいが、この後の解釋の方を誰でも都合がいゝと見るでせう。それ故にユークリッド幾何學は何にも新らしい實驗を恐れるには及びません。〉」

相「ポアンカレーの立派な叙述は、今私たちの前に置かれた問題を理解するのに大きな援けになります。彼れは幾何學の法則と物理學の法則との間にお互に關聯のあるのを判きりさせてゐますが私たちは絶えずそれを心に留めて置かな

ければなりません。私たちは一組みの法則に對して、もう一方の組から抽き拔いたものを附け加へることも出來ます。

私は空間が規約的であることを許します。――さう云へば、すべて話の中の各々の言葉の意味も規約的です。――その上に私たちは、たとへ判斷に役立つ實驗はそつくりポアンカレーの記した通りのものではありませんけれども、實際彼の想像したやうな分岐點に達しました。私は愼重に考へて寧ろその都合のよくないと考へられた方の解釋を採用します。そしてさう云ふ風に選ばれた空間を物理的空間と名づけ、その幾何學を自然幾何學と名づけませう。併しもう一方の空間及び幾何學の規約的意味も可能であると許しておきませう。若しそれが單に空間の意味――寧ろぼんやりした言ひ方ですが――の問題であつたとしたなら、そちらの解釋の方が却つて都合がよかつたかも知れません。けれども長

さと距離とに對して與へられた意味は空間に對する意味と相並行しなければならなかつた筈でした。扨てこれらのものは物理學者が非常な精密さをもつて測らうとしてゐるところの量であります。そしてまた世界に關する私たちの實驗的の知識の全體の中に根本的にはいつてゐます。私たちは謂はゆる星の宇宙の擴がりに關して或る知識をもつてゐます。それは、たとへ最後の實在と云ふ言葉に何が意味されやうとも、單に規約的な且つ任意の數學的な空間に於ける所在を云ひあらはしたものではありません。私たちはその知識をあらはすのに慣れた言葉を奪はれなければならないのでせうか。

　ボイルの法則は氣體の壓がその密度に比例することをあらはしてゐますが、實驗によるとこの法則は單に近似的に本當なのです。ところでボイルの法則が嚴格に守られるやうなぐあひに、規約的に壓を定義し換へれば數學的には大層

簡單になります。けれども然う云ふ様に壓と云ふ言葉を換へるのは、物理學者がそれでもさう變へたものを舊の意味で用ゐられることが確かでない限り、それは專横であると云はなくてはなりません。」

物「私はもう一つ別の異見をもつてゐます。測度から離れても私たちは空間の一般の觀念をもつてゐますし、そして私たちの知覺する空間は少くとも近似的にはユークリッド的です。」

相「私たちの知覺は粗雜な測定なのです。私たちの空間知覺は大部分眼をもつてする光學的測定に關してゐることは事實です。若し強い重力の場で光學的と力學的との測定が一致しなかつたなら、どちらが標準として選ばれるべきかを決め、そしてその後は之を守るやうにしなくてはなりません。ですけれども私たちの確かめ得る範圍では、すべての事情のもとにそれらは一致してゐて、斯

う云ふ困難は起りません。そこで、若し物理的の測定が非ユークリッド的空間を與へるなら、それは取りもなほさず、知覺の空間が非ユークリッド的なのであります。若しあなたが非常に强い重力の場にお移りになつたなら、あなたは直接に空間の非ユークリッド的の性質を知覺なされるでせう。」

物「非ユークリッド空間は理屈に反するやうに思はれます。」

數「それは理屈に反しません。只普通の經驗に反するだけで、まるで異つた事がらです。何故なら、經驗はよほど局限されたものなのですから。」

物「私はどうも自分に非ユークリッド空間が知覺されると想像するわけにはゆきません。」

數「磨いた扉の把手に部屋が映つてゐるのをごらんなさいまし。それを覗いてゐるあなた御自身がそのなかの役者の一人になつてゐますよ。」

想「も一つ別の點を擧げてみませう。二點間の距離といふのは剛い物指で測つた長さである筈です。二點を極小さな物質の粒で目標ししておきませう。何かさう云ふ風にして物體に關係させて、點を區別しておかなくてはなりませんから。簡單のために二點は相對的な運動をしてゐないと想像しませう。つまり距離――それが何であるにしても――が一定に保たれてゐるとします。そこであなたは多分、絕對運動と云ふやうなもののないことを御承認になるでせうね。つまり私たちが〝靜止〟と名づけ得るやうな物指の標準狀態がないと云ふのです。私たちはどんな勝手な運動をしてゐる物指で測つてもよいのです。そして若し運動が異ふと結果も異つて出るならば、そこにはどれが本當であるかを決める基準がないと云ふことになります。それからまた、若し二點が物指に沿うて滑り動くなら、二つの讀みを取るのにどの瞬間を選ぶかによりてみんな異

つて來ます。」

物「距離を定義するのに、二點と同じ速さで動いてゐる物指で測ると定めればそんな差異は出て來ますまい。然うやれば點はいつも物指の二つの格段な目盛りと接觸してゐるでせう。」

相「大層宜い定義です。併し不幸にもそれは一般に用ゐてゐる距離の意味とは一致しません。相對論者が斯う云ふ長さのことを云はうとするときには、それを固有の長さと申します。非相對論的物理學者にはそれは全然用ゐられなかつたやうに思はれます。あなたは御自分の器械を――例へば一對のアルファ粒子を追つかけて――實驗室を横ぎりて投げ送るやうなことは不便極まるとお思ひになるでせうね。そしてこんな風に規約して光の波長を測ることはとてもお出來にはなりますまい。ですから物理學者は長さを地球上に靜止してゐる器械に

對して定めます。數學者に云はせれば〝加速度のない直交座標Ox Oy Oz を選べ：：〟云々とやり出して、測定物指は之等の軸に相對的に靜止してゐると假定するでせう。それで長さと云ふ言葉が用ゐられる場合には、いつも測定器械の或る任意な標準運動が與へられなくてはなりません。」

（一）光の波の固有の長さは實際には無限大であります。

物「それなら測定棒の標準運動を決めさへしたなら、そして同じ瞬時に二點の讀みを取るなら、ちつとも曖昧なところはなくなるでせう。」

相「場處がちがつたとき、同時刻とは一體何を云ふのでせう。異つた場處での同時といふ觀念はなか／＼難かしいものです。他の世界、例へば大角（アルクトウルス）と云ふやうな星に於て時間の進行するうちに、地球上の現在の時刻と同じな特別の時刻があるでせうか。」

物「私はあると考へます。何か連鎖がありさへすればそれを定められると思ひます。大角の上で例へば光輝の強さが變ると云ふやうな出來事が起れば、それを觀測して、光が到着するのに時間がかゝるとしても、それによりて地球上で相當した瞬時を決定することが出來ますから。」

相「併しそのときエーテルを通して動く地球の速さが判らなくてはなりますまい。大角から來る光に出逢ふまでにその方へいくらか動けば、それだけ光の時間が縮まるわけでせう。」

物「そんなことはたいした事ぢやありますまい。」

相「最近の計算ではその間の地球の運動のために光の時間は幾日といふ程變るやうです。併し實際には地球がエーテルを通して動く速さは光の速度以下のどんな速さとしてもかまはないのです。どうであつても觀測上の事實には關はら

ないので、之と矛盾するやうなことは遂に發見されませんでした。さうして見ると誤差は數ヶ月になるか數年になるか判りませんね。」

物「あなたの云はれたことは、地球と大角との上で同時刻である出來事を實際上決定するために、私たちが充分の知識をもつてゐないと云ふことでせう。そのために一定の同時刻と云ふことがないとは言はれますまい。」

相「それは本當です。が、何故私たちがたくさんの立派な企てをしたに拘らず、實際上同時刻、つまり同じ事になりますが、エーテルを通しての運動を決定することが出來ないかと云ふ理由を考へて見ますと、場處の隔たつた出來事の絶對な同時刻と云ふやうなものは無いのぢやないかとも思はれます。それですからひよつとすると存在しなくなるかとも思はれたり、又どの道現在では達しられないやうな、斯んな絶對同時刻の考の上に、私たちの物理學を建てない方がい

ゝでせう。

併しともかくこゝで大切なことは、時間も空間も凡て私たちの測定に依りて與へられると云ふことです。根本的な測定は單に空間の二點間の間隔ではなくて、時間の瞬時と伴つた空間の二點間のそれであります。

私たちの自然幾何學は現在では不完全です。私たちは時間並に空間のなかに持つて來てそれを補足しなければなりません。私たちはその測定に對して完全な時計と剛い物指とが要るでせう。でも理想的な標準の時計を選ぶのは困難です。併しどんな定義でそれを決定しやうとも、物理的の定義でなくてはなりません。私たちは、完全な時計は完全な時を保つものであると云ふやうなことを言つて、それをごまかしてはいけません。多分一番いゝ理論的の時計は、眞空中にある剛い物指の兩端におかれた鏡の間を往復する光の脉動でありませう。

一方の端へ、光が達する各瞬時を記してゆくと、それが時の等しい間隔を定義するでせう。」

物「あなたの時間の單位は、あなたの〝時計〟がエーテルを通して動くに從つて變るだらうと私は考へます。」

相「それはあなたがそれを或る絶對時とお比べになつてゐるからです。私は時間を、或る種類の時計で測つた結果と見なすより外には、時間の考をもつてゐません。(時間が經つと云ふ私たちの直接知覺は、多分腦のなかで物質的の時計の役目をする分子作用と伴つてゐるのでせう。)若しあなたがもつと宜い時計をご存じなら、私はそれを採用することにします。けれども一度私たちの理想的の時計を確かりと定めた上は、もうその判斷をかれこれ云つてはなりません。それからあなたは一つの場處で時を測るお積りなら、その時計をあなたがどこ

までも一つの場處だと思ふ處に固定させてお置きにならなくてはいけません。さうすればその運動が定まるのです。時計の運動を定める必要は、空間と離れて時間を考へることが出來ないと云ふことを判きり云つてゐるのです。そこに時間と空間との兩方を含んでゐる一つの幾何學が生ずるのです。」

物「斯んな研究を幾何學と名づけてもいゝのでせうか。幾何學は空間ばかりを論ずる筈ですが。」

數「私は別に反對しはしません。只時間を第四次元と思へばいゝので、それであなたの完全な自然幾何學は一つの四次元幾何學になります。」

物「はゝあ。そこで私たちは長いこと探してゐた第四次元を見つけたわけですね。」

數「それはあなたがどんな種類の第四次元をお探しになつてゐたかに依ること

です。がそれは多分あなたのお考のやうな意味のものではありますまい。私に取つてはそれは單に三つの空間變數 x y z に對して更に第四の變數 t を附け足しただけの意味をもつてゐます。之等の變數が實際に何をあらはさうと、それは私の關したことではありません。四つの變數は何でもかまひません。例へば氣體の壓、密度、溫度及びエントロピーと云ふやうなものでも一向差支はないのです。併し四つの數學的變數がそこに用ゐられたからと云つて、氣體は四次元をもつてゐるとは、あなたは仰しやりますまい。あなたのお使ひになる〝次元〟と云ふ言葉は多分私のよりももちつと狹いのでせう。」

物「壓と體積とをあらはすのに、履紙の上に高さと幅さとを借りてくることは私は知つてゐますが、そんな風に幾何學は氣體の理論に適用されてゐます。けれど幾何學が直接に然う云ふものを論じてゐて、從つて空間に於ける長さとは

關係しないと云ふのは寧ろあんまり云ひ過ぎてゐはしないでせうか。」

數「いゝえ、そんなことはありません。幾何學は今日では頗る解析的になつてゐますので、形式の上からも結果の上からも、それは性質の知られない變數を取扱ふのです。尤も x や y を一枚の紙の上の長さとして取る方が結果が觀易くなる場合の多いのは事實です。それらを蒸氣機關に於ける壓と容度とであるとしても、多分他の結果を見る援けにはなりませう。併し蒸氣機關では鉛筆のやうなぐあひに手ごろにはゆきません。私は自分の論じてゐる x y z t と云ふやうな變數の意味を知らうと思はないのは全く事實です。それが相對論者に取つての僥倖になつたわけですね。何故ならそれらがどう云ふ風に測られなくてはならないかを、彼がたとへ注意ぶかく定義したにせよ、私が絶對空間を幻覺だと想ふやうな風には、確かに考へてはゐないでせうから。」

物「あなたのお考へはどうも不思議ですね。最初にあなたは御自分の定理が眞であるかどうか、そんなことには關はらないと仰しやいました。そして今度は御自分で話してゐるものがどんなものかを、ちつとでも知らうと思はないと云はれるのですもの。」

數「それが純正數學者の立派な解釋なのであつて、現に有數な數學者(一)がさう書いてゐますよ。」

(一)《純正數學は全く次のやうな確言から成立つてゐます。それは、若し斯く斯くの命題が或るものに就て眞であるならば、斯く斯くの命題はそのものに就ては眞であると云ふのです。第一の命題が實際に眞であるかどうかを論じたり、またそれが眞であると想像されてゐる或るものとは果して何であるかを記したりするのは、本質的のことではありません。……つまり數學は、何に就て話してゐるかを知らないやうな、且つ話してゐるものが眞であるかどうかを決して知らないやうな主題なのであります。》

ベルトランド・ラッセル

相「私の考では時間が第四次元——第四變數と云ふのとは差別して——であると云ふことには實在的の意味があります。次元と言ふ言葉は序列、（Order）の關係と伴つてゐるやうに見えます。私は自然に於ける出來事の序列は一つの分離せられない四次元序列であると信じます。私たちはそれを勝手に空間と時間とに分けることが出來ます。丁度私たちが空間の序列を長さ、厚さ及び高さに分けることが出來るのと同じです。けれども時間のない空間は、厚さのない表面と同樣に完全なものではありません。」

數「あなたは現象背後の實在の世界が四次元であるとお論じになりますか。」

相「私は實在の世界には四次元序列にお互に關係してゐる一組の實體がなくてはならないのであつて、それらが物理學で穿鑿せられる知覺世界の基礎であると思ひます。併しながら四次元の一組の實體を、五次元の基礎世界からも又は

三次元の基礎世界からさへも捉み出すことは可能であります。三次元のなかの直線は四次元の一組の實體をも作ります。卽ち四次元序列をもつてゐます。ですから世界に於ける次元——若し次元と云ふ叙述が適用されるならば——の最後の數を豫言することは誰も出來ますまい。」

物「哲學者は之等の觀念に就てどう考へるでせうか。若くは彼は單に測定の範圍内にないやうな形而上學的の空間及び時間を論ずるだけでせうか。」

相「彼が心理學者である限りに於て、私たちの結果は彼にも關してゐなくてはなりません。知覺は一種の粗雜な物理的測定であつて、知覺された空間や時間は、自然幾何學の主題目である處の測られた空間や時間と同じものです。只彼はそれ程直接に關係してゐないかも知れません。物理學者と哲學者とは久しい間一致して、絶對空間を通しての運動を無意味のものとしてゐました。併し物

理學での問題は、エーテルを通しての運動が意味をもつかどうかと云ふことです。私はさう云ふ運動を無意味だと考へます。けれどもその答へは、たとへ哲學と物理學とを密接な關係に持つては來ましても、絕對運動に關する哲學的の問題そのものとは區別されなくてはなりません。ですが、私たちは哲學者たちの思想に向つて、恐らくは豫期しなかつた實際上の應用を與へたと云ふ點で、彼等からの厚意を期待する權利があると私は思ひます。」

以上の對話のなかで私たちが物理學的に認識すべき空間並に時間は、實際の測定の結果に合致する樣に、つまり言を換へて云ふと自然現象の法則がそれに依りて一定の理論に整へられるやうに見出されなくてはならないことが示されてゐると思ひます。只誤解を避けるためにもう一言茲に附け足しておきたいことは、エッヂングトンは哲學者や數學者の想像する空間がそれと異つた、もつと超越的のものであり得るやうに述べて

ゐることに就てであります。之は勿論然うあつても差支へないことであり、また私たちの理性の自由は充分それを許容してゐるのでありますけれども、併しそれらの思想の基礎となるものはやはり實在的な物理學的な空間であると云ふことは事實として考慮されなければなりますまい。純粹に數學的に見出されたロバチェフスキーやリーマンの幾何學も、その後リーマン等の發展させた微分幾何學の理論から云へば、舊のユークリッド幾何學と共に、全く一般的な同一理論系統のもとに包含せられるのであつて、そのうちの各の特種な場合に過ぎないのであります。そして相對性理論ではそれらのすべての場合の空間が實現し得る可能性をもつてゐると考へられてゐるのです。ですから今日では然う云ふ實在的な空間の外に、尙ほ之と異つた性質のものが（昔、ユークリッド空間の外に非ユークリッド空間が思惟せられてゐたと同じ意味で）數學的に立てられてゐるのではありません。只數學的にはその論じてゐる之等の關係に對して一定の實在的の意味を附與する必要はないと云ふまでであり、且つ解析的に之と同一

論理の成立する高次元の空間などを想像することが出來ると云ふ意味で超越的なのであつて、その基礎は實在的のものと同一であり若くはその模像であるべきことが、私たちに再び相對性理論のお蔭で明らかになつたと云つてよいのでせう。この事實が卽ち私の曩に論じたやうに（七乃至一二頁參照）自然法則の普遍性が數學のそれと密接に關聯して始めてその意味を確實にすることが出來る所以であると思ひます。

（一九二二年二月）

アインスタインの人となるまで

アレキサンダー・モスコフスキーと云ふ人がアインスタインとの對話を基にして彼の生立ちや性格や相對性理論を說明した一書があります。この著者は獨逸の一戲作者に過ぎませぬけれども、かなり學識もあるらしくアインスタイン自身も或る程度まで能く書いてあるとか云うてゐるさうです。それで玆にはその事歷を書いてある部分を抄出して見ます。彼の人となりを知るために有力な材料であると思ふからです。

アインスタインの生涯の歷史はウルムに始まります。そこは獨逸に於ける最も高い建築のある處です。私はウルムの寺院の望樓に登りてアルベルトの幼時に就ての概觀を得たく思ふでもありませうが、併しそれは駄目です。その水平線上には何にも見えません。只彼が一八七九年の三月に此處で生れたことが知

られるだけです。そして記すべきことと云へば、最初にこの子どもの注意を惹いたものが既に物理的のものであつたと云ふことだけです。彼の父はある時寢床に這入つてゐた彼におもちやのつもりで羅針盤を見せましたら、五歳の子どもは驚いてその磁針の振動するのを不思議がりました。意識の奥底に眠つてゐる知識慾がどんなものであつたかはこれでも能く判りませう。今日のアインスタインに取りてはその心理上の體驗を回想するのは明らかに强い意味をもつてゐるでせう。彼にはきつと之が外のどんな物理的の事がらよりも一番强く幼ない頃の印象を生々と浮べさせるに違ひありません。羅針盤、さうしていつも只この羅針盤なのです。この器械が彼に無言の啓示として話しかけ、彼を電磁場の方へ引きつけそして十數年後になりて始めてその研究を成功させたに違ひないからです。

彼の父は快活な樂天的な人であつて、生活上にもおもしろく暮らして余り努力もしない方でしたが、その頃家族と一緒にウルムからミュンヘンへと移つてまゐりました。こゝで家族は廣々とした田園のなかに立つてゐるちよつとした小さな家屋に入りました。それは子ども心に素朴な感じを湧かせたことでした。若し都會の石造家屋のなかにおかれたなら、幼ない人たちにまるで然う云ふ世界は閉ぢられてゐたのでせうに。こゝでは自然が彼に氣息吹きかけ、恰も眼醒めてゆく春の初めに際して彼の心に深い歡びを滴らせました。默りがちのなかにも或る敏感さをもつて彼は自分をうれしくそれに委ねてゐたのでした。空氣と香とのなかに、又樹叢や花芽のなかに得られた素朴な印象によりて養はれたり、又家庭や學校に於ける敎育の影響によりて强められたりして、宗敎的の感動が漸く彼に目醒めて來ました。家族のなかでは儀式ぶつた敎養があつたわけ

ではありません。けれどもその外に彼は同時に猶太敎並にカトリック敎の敎育を受けながら、其の兩者を別々なものとしてではなく却つてそこに共通な信仰を感ずるやうになつてゐたのでした。

我が儘にふるまひ勝手に飛びまはつてゐる同じ年頃の子どもに見るやうな我意の强さは彼にはあらはれませんでした。彼の氣質は沈默がちにものを考へる方で、夢想的な神祕をもつて貫かれた宿命觀に傾いてゐたので、周圍の刺戟に活潑に應ずると云ふやうなこともありませんでした。何でも緩くりと躊躇らひながら臆病にもの事に應じ、奥深い敬虔なこゝろもちでいそしみました。口重な、そして成績も普通な程度で、誰も特別な天才と想ふものはありませんでした。もつと小さい時分には、どうも餘りに並み外れてゐはしないかと兩親が心配した程、遲く口をきゝ出したくらゐであつたのですから、八歲になつた

頃でも全く内氣な、ぐづ〳〵した引込み勝ちな子どもであつて、學校へゆく路にもそちらこちらを彷徨ひ歩きながら、どうすると云ふ當てもなしに夢想に耽つてゐたりしました。餘りに病的なほど正直好きのやうに見えましたから、みんなが彼に愚直者（のろま）さんと云ふ綽名をつけました。その當時こんなに病的だと思はれたのも、今から見れば本質的な犯し難い性質のあらはれに外ならなかつたのでせう。人間として學者としてのアインスタインを知つてゐるものは、誰でもその幼時の病的な氣質を、思想のもの堅い健全さの豫徵として肯づくことが出來るでせう。

夙くから彼に音樂を愛好する心が起りました。彼はいろ〳〵の歌を神の榮のごとくに思つて、いつも自分だけに口のなかで低く歌つたりしてゐましたが、聲を出すことは何となしに兩親に對してさへ羞恥かしく感じたのでした。音樂

や田園や宗教が一緒になつて彼の頭のなかに融け合ひ、然う云ふ感じの痕跡を消ゆることなく滲みつけました。家庭では猶太教で、それから學校ではカトリック教で育て上げられたのですが、彼は信仰心に疑を懐いたこともなく、聖書を讀むにしてもそれを批判的に說明して欲しいと云ふやうな要求も起すことなく、只それを素朴的に尊い體驗として自分に承け容れやうとしました。

痛ましい內感的な强迫がやがて起らずにはゐなかつたのです。猶太人の子どもは學校にはいくらも居ませんでしたが、丁度その時分擴がつてゐた反猶太熱が學校のなかの講壇や腰掛へまでも入り込んで來て、小さなアルベルトの上にもその迸りを蒙らせました。彼は生れて始めて壓迫と云ふものを感じ、至純な感情の絃に不調和に衝き當るもののあるのを知つたのです。そして其の內氣さで不正のまへに立たされ正當防衛をしなければならなかつた爲めに、もとあれ

程弱い臆病な性質のなかにもいくらかの抵抗心や獨立心を起すやうになりました。

學校での成績はいつも普通で、人並に及第するだけのことで、特別な才能はちつともあらはれなかつたばかりでなく、特に言語記憶に關しては覺束なさを示してゐました。彼は十歳まで小學に通ひましたが、そこでの教育法はこの國に普通な軍隊的なやり方でむやみに酷しかつたのです。「追憶は唯一の天國であつて、そこから私たちは追放され得るものではありません」と云ふジャン・パウルの美くしい言葉も、アインスタインの小學時代の追憶には何の反響をも見出さないでせう。彼はそれをたび〳〵私のまへで擴げましたけれど、天國的の餘響はちつとも見えませんでした。苦味走つた皮肉で彼は云ふのでした。「これらの教師たちは下士官氣質をもつてゐました。――それからギムナシウムでの教師

たちは少しはよくなつて少尉氣質になりました。……

小學の次に育てられたのはミュンヘンのルイトポルド・ギムナシウムでしたが、そこの思ひ出にはいくらかの懷しみある響が聞き取られます。けれどもそれも只個人的に關した追憶に止まるだけで、全體としてはやはり心もちの好い聖歌にはなりません。彼の話によりますと、一人〳〵の教師たちに親しみを感じても、學校の精神からはひどく吹き襲はれるやうな嫌な氣持ちをもつたと云ふことです。その後よほど改良はされましたが、その監獄みたいな處は當時の學生に取りて勿論苦痛であつたので、このギムナシウム時代にアインスタインは人爲的な機能を輕蔑するやうになり、彼に强ひられた無精神的な機械的な勉强法を卑めるやうになりました。この灰いろの圖樣のなかに明るい光點のやうに數人の教師たちの人格があらはれました。そのなかでルエスと云ふ先生は十

四歳の彼に一生懸命に古典時代の美くしさを說き聞かせました。アインスタインは現在では人道的の教養理想を未來の學校に對して强く制限させやうとしてゐますが、併し彼がこの先生やそれからの影響を話し出すと、その言葉には古典に對する尊敬が生き〳〵と響き、時としては希臘の歷史や文學に對して激しい爆發的の親愛さをもあらはすことさへあります。古代への眼を開かせたばかりではありませんでした。その同じ先生から導かれて、彼は鄕國の詩文學へも自らを養ひ、「ヘルマン及びドロテア」を讀んですつかりゲーテに魅せられました。然う云ふ詩を彼は科外的に敎はつたので、それは模型的敎育の砂漠のなかに於けるオアシスであり、知識に渇いてゐる子どもの魂に對する保養所でもあつたのでした。

私はこゝで話を二年程前に立ち戻して一つの目立つた體驗に就て記さなくて

はなりません。彼は始めて初等數學をならひ出して驚異を感じました。それは學校の課業と云ふやうな意味でなく、まるでそれと違つた魔術みたやうな謎を含んだ學問としてであつて、そのいろ〳〵な問題にはつきりした解答を與へることが、彼の心に歡びを起させたのでした。彼は計算に達者であつたわけでもなく、又數式を扱ふことも能くは知らなかつたのですが、それでも最初からうまい問題の解き手でありました。正式ではなくとも上手に廻り道をしてはそれを試み、そして最後の目的に達してひどく欣び勵まされました。技師をして同じミュンヘンに住んでゐた叔父のヤコブ・アインスタインと云ふ人がありましたが、或る時彼に特別に變つた問題を出しました。彼は「代數」と云ふ名を聞き知つてゐましたので、之は多分それで解くことが出來るのではないかと想像しました。ところが叔父が云ひ聞かせるのには「代數など云ふものはずるい計

算術だよ、何でも知らないものを x とおいて、それを知つてゐるやうな顔で取扱つて、その關係をちやんと書き、後からその x を定めるのだ」と云ふのでしたが、これだけ聞いて子供はすつかり合點してしまひました。そして代數の書物を買つて來て、自分ひとりでどうやら理解するまで讀んで、問題を解くことが出來るやうになりました。それから又いつでしたか叔父のヤコブは彼にピタゴラスの定理を話したことがありました。その定理の證明は聞かなかつたのでしたが、彼はそれを頭腦に入れて、どうも證明なしでは氣がすまなくなり、どうにかして自分でこれを考へ足さうとしました。それは勿論 x を捜し出すあの「ずるい計算」とは別のもので、寧ろこんな幼ない時分にはもつと難かしく感ずる幾何學の才能が要るのでした。アルベルトは三週間ばかりと云ふものは一生懸命にピタゴラスのなかに浸り込んでゐましたが、とうとう（直角の頂

點から斜邊へ垂線を引いて）相似三角形の考へにたどり付いて、望み通りにこの定理を證明することが出來たのでした。そしてそれは昔に知られたものではあつたにしても、彼に取つては最初の發見のよろこびであつたのです。その證明を彼が見出したと云ふことは、この若年の沈思者に生長しつゝある鋭敏さを示すものでありました。

彼がベルンスタインの大きな科學的の通俗書を知つたときに、彼に再び一つの世界があらはれたのです。この書物は今ではもうすつかり時代後れのものであり、多くの人たちの眼には似而非科學的な古本としか映らなくなつてゐるばかりでなく、それが實際先世紀の五十年代のもので、書いてある材料も古いものですから、アインスタインの子どもの時代にさへも既に黴臭い傾があつたには違ひありませんが、併しそのなかには小說のやうな風におもしろく物理、天

文、化學などの珍らしい話がたくさんに入つてゐますから、子供のアインスタインに取つてはその自然に對する好奇心や想像力をそそるに足る恰好の書物でもあつたのでした。

他の地平線を再び彼に開いたものはブッヒネルの「力及び物質」と云ふ書物でした。これはつまらない本でしたけれど、彼はまだそんなことを見通すことは出來なかつたので、只無批判にそれに驚かされてゐました。それと共に彼は初等面積測量法の書物をも讀んで、そのなかのたくさんの幾何學上の問題に親しみ、僅かの時日でそれもすつかり解答してしまひました。學校の課程とはまるで離れて解析幾何學や微積分學の難かしいなかにまで入つてゆくと、そこに導ろ惹きつけられるやうな心醉を生じてゐました。リュープセンの敎科書をも手に入れてその手引に滿足を感じたりしました。彼の中學友だち等が全等定

理や小數分數などの水溜りのなかに立つてがつかりしてゐるうちに、彼はもう微積分の大洋のなかの自由な泳ぎ手として進むことが出來たのでした。さう云ふ彼の練達は隱されてはゐずに、ぢきみんなに知れ亙り、その數學教師などもこの十五歳の子どもに大學程度の學力があると云つたくらゐでした。

こんな早熟な學才のためではありませんでしたが、豫想しない事情が起つて生活上の變化があつたために、彼は中途で學校を退きました。丁度一八九四年でしたが、そのとき彼の兩親たちが伊太利へ移住することになつたからなのです。今まで育つて來た土地を去ることに對しての別離の悲しみに就ては記す程のこともなく、却つて彼はルイトポルドの學校を離れるのをうれしく思ひ、ミラノに住んで生活が變つても懷鄉の悲哀を感ずることなしに樂しむことが出來ました。ともかくも彼はミュンヘンの學校での壓制をかなりに不滿に感じてゐたの

です。自分ひとりで數學には興味を得るやうにはなりましたが、又十二歳ばかりの早い頃から音樂を好むやうな多幸を具へてはゐましたが、外部からの壓迫に對する反抗や苦痛などがその年齡に相當した無邪氣な心を阻む力として彼の上にはたらいたことは事實なのです。この桎梏が今漸く外されたのでした。そして水門が開放されて堰き止められてゐた生命の快樂が流れ出たのでした。南國の太陽や、風景や、伊太利の情趣や美術や、それらが自由に市街の上に並べ見せられて、嘗て彼が夢見てゐた光景を實現せしめてゐました。彼が目擊したり體感したりする處の一切は今まで見慣れてゐたものとは違つて、彼に自然及び人間の事物のほんとうの意味を語らせ、彼の靈性を抑壓から解放させるものでありました。

こゝに居たのは半年ばかりの期間に過ぎなかつたので彼は學校へも行かず、

全く自由に文學などに親しんだり、諸方へ遠足に出たりしてくらしました。彼は自分獨りでパヴィアからアペニン山脈を踰えてジェネーヴに歩いたこともありました。その間山岳の崇高な氣分に擊たれたり、又下層民を見て深い同情を起しもしました。彼はそこから尙ほ伊太利のリヴィーラに旅をつゞけましたが、ベックリンの繪を見るやうな其の刺戟づよい色彩は忘れることの出來ないものでありました。そして彼は頂の方に向いてツァラツウストラを想ひ出してゐたのに違ひありません。

あらゆる喜びと空想とに充ちてゐた伊太利の體驗は併し短いエピソードに過ぎませんでした。アインスタインは職業上の目的を思ひ浮べて新らしい遍歷に出かける決心をいたしました。そして瑞西に來てチューリッヒのポリテクニクムで數學と物理學とを學ばうと企てましたが、最初からすぐとそこに入學が出

來やうとは思ひませんでした。入學の條件として記載自然科學と近世語學との科目の試驗があつたのに、彼はまだその資格をもつてはゐなかつたからです。彼はアーラウに行つて州立學校に入りそこで特殊な方法學に從つて彼の智識を養ふとが出來ました。この模範學校は獨逸のレアル・ギムナシウムと略ぼ同程度のものですか、現在でもアインスタインはその學校の組織を賞めてゐます。そこではルイトポルドの學校兵營に於ける權柄づくの鞭の響を思ひ出すやうなことはまるで無く、圓滑に彼は成熟することが出來ました。そしてその後でチューリッヒのポリテクニクムの門戶が彼に開かれるやうになりました。

彼が將軍杖をその背嚢に負うてゐたことは彼自らには意識されずに居つたに違ひありません。けれども私たちは振り返つて見て驚愕に値する事がらにぶつかるのです。それは既にアーラウの學生時代に問題の根源が橫はり、その當時

に可能であつた研究の圏內におかれてゐたと云ふことです。彼はまだ發見者ではありませんでしたが、併し十六歲の青年として求めてゐたものは既に彼の後年の發見の範圍に衝き入つてゐたのでした。こゝではさう云ふことを單に書き留めておくだけにして、彼の發育の解析には立ち入りますまい。何故なら私たちはその中間項をどうして搜し出したらいゝか判りません。つまり一人の若い州立學校の學生をまだ全く閉ざされてゐた物理學に觸接させるやうに導いた思想の跳躍を知悉することが出來ないからです。彼の考究した問題と云ふのは運動物體の光學でした。詳しく云へばエーテルに相對的に動いてゐる物體からの光の發射に關したものでした。そこに後になりて世界形像の變革にまでも導かねばならなかつた程な大きな思想群の本源があつたのです。若し或る傳記著者があつて、相對性理論の始源はその時代にまで溯つてゐると書いたとしてもそ

の人は何も客觀的に僞りを主張したのではないでありませう。

こんな思想飛行の高さにまではこの若い人の個性的な野心は昂まりませんでした。そしてもう力に充ちた翼は充分羽ばたきし得たのに拘らず、尙ほやはり地面に俯つてゐたのです。彼は學校教師にならうと思ひ、これを目的にして彼の希望を高く張りつめさせることが出來ると信じてゐました。それは教師の位置に對して尊敬をもつてゐたからでもありました。チューリッヒの高等工業學校には師範科があつたので、アインスタインはそこで十七歲から二十一歲まで學んで、そして長腰掛に座る代りに講壇のうへに立つことが出來、若い教師として小さな範圍のなかで多幸にはたらかうと云ふだけの考へですつかり滿足してゐたのでした。

けれどもいつも彼は生活上豐かでもないながらに、併し世間の潮流のなかに

生存の鬪爭をなすには堪へられないやうな感じをもつてゐました。人間同志の間柄で、暴々しい力を見せて、虛僞の名譽に飾られてこんな鬪ひをすることは、彼にはひどく厭な恐ろしいことであり、力に對するに力をもつてすると云ふやうな氣にはとてもなれませんでした。それですから彼の理想と云つても最初は極僅かばかりの生活の資を得ればいゝと思つてゐたのに過ぎません。種々の方面から彼に物理學又は數學の教授の許で助手の位置を得るやうに世話されましたが、どう云ふ理由かは判りませんが、どこへ行つても斷られてしまひました。又中學教師の望みも、履歷の上からの難點があつて充たされなかつたのです。それと云ふのも先づ第一に彼は瑞西人ではなく、ミラノに住んで以來は剩さへ戶籍法の上で「無國籍」になつてゐたのであり、又次に彼には「個人關係」が缺けてゐたので、どうもそれ無しには少くとも當時瑞西ではかなりの有力者に對し

てさへ自由の路が與へられなかつたのでした。けれども保護者をもたない彼はどこかで自分の手で日々の糧を獲る必要がありました。兩親とは始終便りをしてはゐましたが、物質上の補助をもらふことは出來なかつたので、間もなくシャッフハウゼンやベルンに行つて私敎師となつて貧しいながらに過ごしました。

彼の慰みは只自分の獨立心にたよることでした。そしてどこまで自由の本能によりて本質的なものを自身のなかに求めやうと努めました。チューリッヒの學生時代にもポリテクニクムの講義に追隨せずに、勝手に家のなかで理論物理學の研究に耽る方が多かつたのです。そしてキルヒホッフやヘルムホルツ、ヘルツ、ボルツマン、ドルーデなどの論著に深く入り込みました。話は前後しますが彼はこんな研究をしてゐる間にやはり同じ方面に勵んでゐた一人の異性を見出しました。それは南スラブの女學生でしたが、その人と一九〇三年になつて

結婚しました。併し數年後に別れて、更にずつと後で從妹のエルゼ・アインスタインとベルリンで結婚するやうになりました。彼女は快活な知識のある人でいま家庭の幸福を理想的に保つてゐます。

一九〇一年になつて彼は瑞西に五年間在住した結果でチューリッヒの市民權を得たので、漸く物質上の困窮から遁れる見込が立ちました。彼の大學での同窓であつたマーセル・グロースマンが非常に盡力してくれて、彼を瑞西の特許局の長官であつたハルレルに推薦しました。アインスタインはその役所で一九〇二年から一九〇九年まで技師を勤め、特許出願品の豫備審査を行なつてゐましたが、この地位にゐたお蔭で彼は工業のかなり廣い範圍に亘つての素養を得ることが出來ました。「發見」と云ふことの意味をひたむきに主張する人には、アインスタインがそんなに長い年月の間「發明」の領域に從事してゐたことは恐

らく知られないでせう。けれどこの兩範圍は共通にいゝ頭腦を待つてゐる點でお互に連關してゐるのです。そしてアインスタイン自身さへも實際にそれを示すことを大切と考へてゐます。彼に取つては特許局で得た知識と、それから同時代にその卓越した腦力をあらはした理論的の仕事との間に確かな關係が存するに違ひありません。

この職業の半ばであつた一九〇五年に暴雨のなかに電光の閃めきがあらはれました。彼の精神は多年隱れ積もつた蘊蓄から續々と公けにせられました。尤も一個人の發育のさう云ふ或る一段落よりかもその以前の準備時代の方が私たちに意味多いものには違ひありませんが、ともかくこゝでそれが成熟に達したと云つてよいのです。そして物理學のうへにガリレイ及ニウトンの遺產を完成する樣にあらはれました。こゝには彼が凡て一九〇五年に物理學年報(Annalen

der Physik）に發表した論文の題目だけを記しませう。「光の發生と變化とに關する手段的見解に就て」「物體の惰性はそのエネルギー内容に關するかどうか」「熱の分子運動論から要求せられて、靜止流體内に浮游せる微粒にあらはれる運動に就て」、それから最も大切なものとして「運動物體の電氣力學に就て」と云ふのがあります。この最後のは特殊相對性の最も基礎的な理論を含んだものです。それから尙ほこの年にドクトル論文として「分子の大さの新らしい決定」も出ました。

これは皆科學史上に殘るべき仕事であります。併し斯う云ふ仕事の判きりした價値が認められるまでには勿論尙ほ久しい時間が要りました。つまり之等の論文のなかにはまだ暫らく理解されずに居た個々の寶が入つてゐたと云つても宜いでせう。この若い研究者に對して親切な且つ理解ある注意を向けたものは

さつぱりありませんでしたけれど、そのなかで彼は當時既に有名な物理學者であつたマックス・プランクから――その時まではまるで個人的に知らない間柄でしたが――特別な心からの手紙を受けとりました。その手紙は「運動物體の電氣力學に就て」の彼の論文に對する惠まれた反響であつて、實に後になつて波濤のやうに彼に襲ひかゝつたあらゆる賞讃のうちの最初の辭令であり、前驅者であつたのでした。

彼は大學の講師になりたいと望みましたが、ベルンでその資格を得るには再び困難を感じました。それに專心に努めることが出來たなら恐らく何でもないことでしたらうが、然うゆかなかつたからです。それでも遂にベルンで敎職が用意されるやうになつた時に――彼はほんの僅かの間然う裝つてゐましたが――チューリッヒが望み通りの手をひろげて彼を迎へました。彼はそこで一九

〇九年に大學助教授になつて理論物理學を擔當したので、間もなく聽講生も集まつてまゐりました。夫れにも拘らず彼は最初には幾分か以前のお役所仕事の呑氣な靜かななかに或る度まで周圍から離れて感じ得たのを懷かしく思ひ出すことを免がれませんでした。一九一一年に新たにプラーグ大學の正教授に招ばれ、物質上の報酬もよかつた爲にその方へ赴きましたが、一九一二年の秋にはまたチューリッヒへ戻つてポリテクニクムの教授となり、一九一四年の春になつて強い北方の磁石の力の場へ導かれてゆきました。彼はスプレー河邊に住んでそれ以來私たちのなかに滯まつてゐます。國家的には瑞西人であり、精神的には世界公民であり、官職の上ではベルリン學士院の會員として大學の講座をもつてゐました。此處で彼はその相對性の理論を、一九〇七年に源を發した万有引力論の著大な擴張と共に完成させました。それを完成するためには非常な骨

折をして八年も要つたのです。世界をしてこの理論のあらゆる歸結を完全に見究めさせるには恐らくは尙ほ幾世紀もかゝることでせう。

何故ならばそれが爲めには思想上の慣習に打ち勝たなければなりませんから、それはすぐれた頭腦にあつてすらその傳統的な權利として入り込んでゐるものを取りのけるのは容易なことではないのです。同じ物理學の第一人者のなかに數へられるアンリー・ポアンカレーでもまだ一九一〇年頃アインスタインの新らしい力學を承認するにはかなりの努力が要ると云うた程です。彼がその疑念を全くなくす迄には尙ほ年月を要したに相違ありませんでした。けれども勿論その後に彼は旗を飜してアインスタインの幕營に移りました。アインスタインがチューリッヒの敎授の職に就いたときにポアンカレーはあのラヂウムの發見者のキユリー夫人と一緒にそれを祝しました。その祝賀の奏曲の一節をこ

こに共鳴しながら記してみませう。

「アインスタイン氏は」とその時偉大なポアンカレーが書きました。「私の今までに知つたうちの最も創造的な精神をもつた一人です。まだ年の若いのに拘らず彼はもう現時の第一流の學者のうちでも最も高い尊敬に値する人です。私たちが特別に彼に於て驚くべきことは、彼が容易に新らしい考慮に自分を向けてそこからいろ〳〵な結論を得ると云ふことです。彼は古典的な原理に自分を粘着させておかずに、寧ろ或る物理學の問題に出逢ふ毎に考へ得られるあらゆる可能性を見まはします。彼の頭腦のなかでそれがすぐと新らしい現象の豫察となつてしまひ、日々の經驗的事實にあらはれるかどうかを考へます。……どんな價値をアインスタイン氏があらはすであらうかは將來益〻示されるでせう。彼を自分の處に繫ぐことを知つてゐる學校は、この若い偉人との連結のために名

譽を贏ち得ることは確かであると云はれます。」

（一九二二年二月）

大正十年十二月廿日印刷
大正十年十二月廿三日發行
大正十一年十一月廿二日増補廿五版
大正十一年十一月廿四日増補廿六版
大正十一年十一月廿六日廿七版

アインスタインと
相對性理論
増補版

改正定價金貳圓貳拾錢

著者　石原純

東京市芝區愛宕下町一丁目一番地
發行者　山本美

東京市京橋區西紺屋町廿七番地
印刷者　石川金太郎

發行所　改造社
東京芝愛宕下町一ノ一
振替東京八四〇二番
電話芝　一六三八番
二八五四番
四三〇三番

東京　株式會社　秀英舍印刷

「アインスタインと相對性理論」正誤表

頁	行	誤	正
一〇	一一	見處	見
一二	一一	之がながに	之がなかに
一五	八	場處	場處
一九	一	差を認め	差をも認め
二八	二	アイススタイン	アインスタイン
四四	八—九	一九一〇年	一九〇七年
四四	一〇	それかち	それから
四八	一一	平均度	平均密度
五五	八	密　な	密接な
六八	一一	又び	及び
七三	八	之は	之を
八六	九	を出し	を見出し
八七	九	はどこに	どこに
九九	九	云ふた	云うた
一三三	四	こととが	ことが
一四二	七	人には云ふ	人にはと云ふ
一五六	四—五	生む　う	生むやう
一八三	一	棒鐵	鐵棒
一八九	八	Phsiyk	Physik
一九四	第三欄七	Aun. d. Phys.	Ann. d. Phys.
二〇四	第二欄八	Kovarianten	kovarianten
二〇六	五	Müller che	Müllersche

著者	書名	版	體裁・定價・送料
文學博士 朝永三十郎著	カントの平和論	五版	四六版 上製 定價壹圓五拾錢 送料拾五錢
賀川豊彦著	星より星への通路	四十五版	四六版 上製 定價貳圓 送料拾七錢
阿部次郎著	北郊雜記	十一版	菊半截 上製 定價壹圓九拾錢 送料拾七錢
谷崎潤一郎作	戯曲 愛すればこそ	卅五版	四六版 上製 定價壹圓六拾錢 送料拾七錢
片山潜著	自傳	五版	四六版 上製 定價壹圓八拾錢 送料拾七錢
中西伊之助作	赭土に芽ぐむもの	八版	四六版 上製 定價參圓 送料拾九錢
中澤臨川著	電子説から見た世界	六版	四六版 上製 定價壹圓八拾錢 送料拾五錢
山川均著	レーニンとトロツキー	九版	四六版 上製 定價壹圓九拾錢 送料拾五錢

著者	書名	版	定價
賀川豊彦作	長編小説 死線を越えて	二百七拾八版	四六版上製 定價參圓 送料拾九錢
賀川豊彦作	長編小説 死線を越えて 中巻 太陽を射るもの	百八拾二版	四六版上製 定價貳圓八拾錢 送料拾九錢
尾崎士郎作	長編小説 逃避行	七版	四六版上製 定價貳圓參拾錢 送料拾九錢
尾崎士郎作	長編小説 懷疑者の群 第二部 低迷期の人々	四版	四六版上製 定價壹圓六拾錢 送料拾七錢
中澤臨川作	小説 嵐の前	拾五版	四六版上製 定價貳圓 送料拾五錢
島田清次郎作	小説 勝利を前にして	拾二版	四六版上製 定價貳圓四拾錢 送料拾九錢
志賀直哉作	直哉傑作撰集 壽々	四版	四六版上製 定價貳圓八拾錢 送料拾九錢
野上彌生子作	彌生子傑作集 小説六つ	三版	四六版上製 定價貳圓七拾錢 送料拾九錢